



Nadine Marques Alves

Monitorização dos teores de acrilamida, humidade e gordura na produção  
de batata frita

Orientador: Professor Rui Costa



Nadine Marques Alves

Relatório de estágio apresentado à Escola Superior Agrária de  
Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção  
do grau de mestre em Engenharia Alimentar

Orientador: Professor Rui Costa

## **Agradecimentos**

Ao longo desta caminhada foram vários os apoios recebidos, sem os quais a elaboração deste trabalho não teria sido possível e a quem deixo de seguida, o meu mais sincero agradecimento.

Em primeiro lugar, um agradecimento especial à minha orientadora Engenheira Rita Rodrigues, pelo enorme carinho e simpatia com que sempre me recebeu, pelo profissionalismo e conhecimento que me transmitiu e por toda a atenção, preocupação e apoio.

A todos os colaboradores da SIA por me terem recebido tão bem, em especial ao Departamento de Qualidade que sempre me ajudou e apoiou.

Ao meu orientador interno, Professor Rui Costa, pela disponibilidade, acompanhamento e orientação.

Ao meu namorado, Pedro, por nunca me ter deixado ir abaixo mesmo quando o cansaço vinha ao de cima. És a minha força.

Aos meus amigos que apesar de longe estão sempre perto, obrigada por existirem.

Por último, mas não menos importante, agradeço à minha família, sem eles devo tudo o que sou hoje. Mãe, Pai, Irmã e Avó, os pilares da minha vida.

A todos vocês que estiveram sempre presentes, dedico-vos este trabalho.

## Resumo

A presença de compostos tóxicos em alimentos sujeitos a elevadas temperaturas tem sido alvo de uma maior preocupação por parte dos consumidores. A acrilamida foi descoberta em alimentos pela primeira vez em 2002 e, desde então, que a pressão exercida sobre a indústria alimentar no sentido de realizar investigações acerca do teor desta substância nos seus produtos alimentares aumentou.

Os produtos à base de batata, os cereais, incluindo o pão e as bolachas, o café e os seus derivados são os alimentos que apresentam maior quantidade de acrilamida e os que mais contribuem para a sua ingestão diária, uma vez que são géneros alimentícios que mais fazem parte dos hábitos alimentares da população em geral.

Desta forma, este trabalho, desenvolvido na SIA, procura desenvolver e otimizar um método de quantificação deste composto, em contexto industrial, garantindo assim o cumprimento do estabelecido no regulamento e possibilitando a deteção e prevenção de possíveis desvios face aos valores de referência.

Numa fase inicial procedeu-se à calibração de um equipamento presente nas linhas de fritura que são responsáveis pela monitorização da humidade e gordura da batata frita à saída da fritadeira. A calibração permitiu uma redução no erro associado à leitura pelo equipamento numa média de 0,19% no caso da humidade e 2,23% no caso da gordura.

No que concerne à acrilamida, a metodologia utilizada na SIA ainda se encontra em fase de investigação, porém foi possível verificar a influência da humidade no teor deste composto no produto final. Em todas variedades de batata em estudo observou-se que humidades mais baixas originavam teores de acrilamida mais elevados e vice-versa.

Desta forma, a importância do controlo da humidade em todo o processo produtivo mostrou ser uma variável fulcral para uma maior compreensão e acompanhamento do teor de acrilamida em batatas fritas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Acrilamida, batatas fritas, humidade, gordura, açúcares, asparagina.

## Abstract

The presence of toxic compounds in foods subjected to high temperatures has become a great matter of concern for the consumers. Acrylamide was firstly discovered in foods in 2002 and, since then, the Food Industry has been pressured to conduct research in order to detect and quantify the acrylamide content in their final food products and, consequently, to be able to delineate the limits and mitigation strategies.

Potato-based products, cereals (including bread and cookies), coffee and their derivatives are the foods with the highest amount of acrylamide and which most contribute to its daily intake, once they are a big part of the eating habits of the general population they are foods that are a big part of the eating habits of the general population.

Thus, this work, developed in SIA, seeks to develop and optimize a quantification method of this compound in an industrial context, ensuring compliance with the established in the regulation and enabling the detection and prevention of possible deviations from the reference values.

At an early stage, the equipment responsible for monitoring the moisture and fat of the fries when leaving the fryer was calibrated. The calibration allowed a reduction in reading error associated with the equipment by an average of 0,19% for moisture and 2,23% for fat.

Concerning acrylamide, the methodology used in SIA is still under investigation, but it was possible to verify the influence of moisture on the content of this compound in the final product. In all potato varieties studied it was observed that lower humidity resulted in higher acrylamide levels.

Thus, the importance of moisture control throughout the production process has proved to be a key variable for a better understanding and monitoring of the acrylamide content in chips

**KEYWORDS:** Acrylamide, french fries, moisture, fat, sugars, asparagine.

## **Abreviaturas**

INE – Instituto Nacional de Estatística

IPC – International Potato Center

MCT – Multiple Constituents Transmitter

HPLC – High Performance Liquid Chromatography

SIA – Sociedade Industrial de Aperitivos

EFSA - Autoridade Europeia de Segurança Alimentar

IARC – International Agency for Research on Cancer

JECFA - Joint Expert Committee on Food Additives

FAO - Food and Agriculture Organization

WHO - World Health Organization

FSA – Food Standards Agency

FDA - Food and Drug Administration

NIR – Near Infrared spectroscopy

ppb – Partes por bilhão

## Sumário

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>I</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>III</b>
<b>ABREVIATURAS .....</b>	<b>IV</b>
<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 ENQUADRAMENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>3 APRESENTAÇÃO DA SIA .....</b>	<b>4</b>
<b>4 PROCESSO DE FABRICO .....</b>	<b>6</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICO .....	6
<b>5 CALIBRAÇÃO DOS MCT'S NA DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE HUMIDADE E GORDURA EM LINHA</b>	<b>13</b>
5.1 TEOR DE HUMIDADE DA BATATA APÓS FRITURA .....	15
5.2 TEOR DE GORDURA DA BATATA APÓS FRITURA .....	17
5.3 RESULTADOS .....	18
<b>6 ACRILAMIDA .....</b>	<b>26</b>
6.1 INTRODUÇÃO .....	26
6.2 EXPOSIÇÃO À ACRILAMIDA .....	28
6.3 FORMAÇÃO DE ACRILAMIDA PELA REAÇÃO DE MAILLARD .....	30
6.4 MÉTODO DE ANÁLISE DA ACRILAMIDA .....	33
6.5 RESULTADOS .....	35
6.6 ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO .....	39
<b>7 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO .....</b>	<b>44</b>
<b>8 BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>46</b>
<b>9 ANEXOS .....</b>	<b>49</b>

## Índice de Figuras

Figura 1 - Logotipo da empresa. ....	4
Figura 2 – Batatas fritas da marca SIA. ....	4
Figura 3 – Apresentação do lote à Produção e Laboratório. ....	7
Figura 4 -Processo de lavagem da batata. ....	7
Figura 5 – Seleção manual da batata. ....	8
Figura 6 – Lavagem das rodela após o corte. ....	9
Figura 7 – Representação esquemática do interior da fritadeira. ....	9
Figura 8 – Inspeção da batata após o processo de fritura. ....	10
Figura 9 – Tambor de aromatização. ....	11
Figura 10 – Tremonhas. ....	12
Figura 11 – Equipamento MCT: (a) ecrã (b) sensor. ....	14
Figura 12 – Apresentação dos valores de humidade e gordura em laboratório. ....	15
Figura 13 – Resultados obtidos dos dois métodos de análise de humidade: em Laboratório (azul) e na Estufa (cinza). ....	16
Figura 14 - Relação entre a humidade obtida em laboratório e no MCT. ....	19
Figura 15 - Relação entre a humidade obtida em laboratório e no MCT após calibração. ....	20
Figura 16 - Relação entre o teor de gordura obtida em laboratório e no MCT. ....	22
Figura 17 - Relação entre a humidade obtida em laboratório e no MCT após calibração. ....	23
Figura 18 – Estrutura da acrilamida. Adaptado de Pedro Fischer de Almeida Serôdio 2015. ....	28
Figura 19 – Contribuição (%) do tipo de alimentos para a exposição da acrilamida na população. Adaptado de Boon et al. 2005. ....	29
Figura 20 – Mecanismo de formação de acrilamida pela Reação de Maillard. Adaptado de Xu et al. 2016. ....	31
Figura 21-Descrição da aquisição dos espectros da amostra de batata frita pelo equipamento XPTO <sup>3</sup> . ....	33
Figura 22 – Representação dos espectros recolhidos pelo equipamento XPTO <sup>3</sup> . ....	34
Figura 23 – Equipamento XPTO <sup>3</sup> : (a) amostra de batata triturada; (b) medição de acrilamida. ....	35



Figura 24 – Resultados do teor relativo de acrilamida nas três variedades de batata estudadas em função da humidade no produto final. O número de amostras analisadas é apresentado no topo de cada coluna. ....	36
Figura 25 – Resultados do teor relativo de acrilamida nas variedades D e E em função da humidade no produto final. O número de amostras analisadas é apresentado no topo de cada coluna. ....	37
Figura 26 – Resultados do teor de acrilamida em dois laboratórios externos e no equipamento XPTO. ....	38
Figura 27 - Resultados obtidos: (a) antes da calibração (b) após calibração. ....	50
Figura 28- Resultados obtidos: (a) antes da calibração (b) após calibração. ....	50
Figura 29- Resultados obtidos: (a) antes da calibração (b) primeira calibração (c) segunda calibração (d) terceira calibração. ....	51
Figura 30 - Resultados obtidos: (a) antes da calibração (b) após calibração. ....	52
Figura 31 - Resultados obtidos: (a) antes da calibração (b) após calibração. ....	52
Figura 32 - Resultados obtidos: (a) antes da calibração (b) após calibração. ....	53
Figura 33 - Resultados obtidos: (a) antes da calibração (b) após calibração. ....	53
Figura 34 - Resultados obtidos: (a) antes da calibração (b) após calibração. ....	54
Figura 35 - Resultados obtidos: (a) antes da calibração (b) após calibração. ....	54
Figura 36 - Resultados obtidos: (a) antes da calibração (b) após calibração. ....	55

## **índice de Tabelas**

Tabela 1 – Resultados obtidos da calibração da humidade nos MCT's para diferentes processos. ....	21
Tabela 2 – Resultados obtidos da calibração do teor de gordura nos MCT's para diferentes processos. ....	24
Tabela 3 – Níveis de referência estabelecidos pelo regulamento Europeu 2017/2158 em géneros alimentícios. ....	27

## 1 Introdução

Atualmente a batata é a quinta cultura mais importante em todo o mundo, depois do trigo, milho, arroz e cana de açúcar, cultivando-se atualmente milhares de variedades (Mann 2011). Os principais países produtores de batata a nível mundial são a China, a Federação Russa e a Índia, atingindo uma produção de aproximadamente de 300.000.000 toneladas/ano (Anón 2016).

Analisando os dados mais recentes disponibilizados pelo INE (Instituto Nacional de Estatística), a produção de batata em Portugal é, atualmente, próxima de 550.000 toneladas/ano, sendo que são exportadas 45.000 toneladas/ano que têm como principais destinos Espanha, Alemanha, Holanda, França e Cabo Verde (Portugal. INE 2018).

A aplicação industrial da batata tem sido, ao longo dos últimos anos, muito diversificada e abrangente. Na realidade, menos de 50% da produção mundial de batata é consumida “fresca”. A maior parte tem como destino final os alimentos processados que utilizam a batata na sua composição. O maior consumo global de batata como alimento é na forma de batatas pré fritas e de pacote, seguindo-se o seu consumo na sua forma desidratada com diversas aplicações em molhos, sopas, biscoitos, gelados, etc. Já as aplicações não alimentares englobam a utilização do amido de batata na indústria farmacêutica, têxtil e papel. Tem sido também um produto cada vez mais utilizado para a substituição de plástico (International Potato Center 2019).

Em abril de 2002, as autoridades, indústrias alimentares e consumidores foram surpreendidos pela descoberta inesperada, em muitos alimentos confeccionados termicamente a temperaturas elevadas, de uma substância tóxica: a acrilamida. A descoberta deste composto gerou inúmeras preocupações dada a evidência, pela *Internacional Agency for Research on Cancer*, do seu potencial poder carcinogénico em animais e, consequentemente, no ser humano (FDA 2016).

Sabe-se agora que a acrilamida é um produto de uma reação bastante comum nos alimentos consumidos pelo ser humano, e que existe muito provavelmente desde que o Homem começou a utilizar temperaturas elevadas na confeção de alimentos (FDA 2016).

Os consumidores estão cada vez mais sensibilizados e informados para os benefícios de uma alimentação saudável e sobre as consequências que eventuais falhas na qualidade dos produtos poderão um dia ter na sua qualidade de vida. E é por esse mesmo motivo que a importância da qualidade e da segurança alimentar para os consumidores tem vindo a aumentar nos últimos anos obrigando, inevitavelmente, as indústrias a adotarem medidas no imediato quando uma delas é colocada em questão.

## 2 Enquadramento

Tendo em conta a crescente importância da ocorrência, deteção e quantificação da acrilamida em produtos alimentares, as diversas estratégias de mitigação e a complexidade dos métodos de análise existentes, os principais objetivos deste trabalho são:

- a) Calibração dos leitores de humidade e gordura em linha (MCT – *Multiple Constituent Transmitter*).
- b) Estudo da influência da variedade de batata na formação de acrilamida;
- c) Estudo da influência da humidade do produto final no teor de acrilamida;

A acrilamida foi medida utilizando um equipamento que deteta a presença deste composto numa amostra através de tecnologia de fluorescência com luz UV. A batata é recolhida em linha, triturada e colocada a ler numa placa de Petri dentro do equipamento. Com o objetivo de estudar de que forma as variáveis do processo podem influenciar o teor de acrilamida no produto final, foi criada uma base de dados que reúne os vários dados do processo (variedade da batata, matéria seca, açúcares, humidade, cor, entre outros) para possibilitar desta forma uma análise mais profunda e detalhada.

Uma vez que a humidade é um elemento importante na formação da acrilamida e na própria qualidade do produto, é fundamental ter um controlo mais rigoroso com esse parâmetro. O *Multiple Constituent Transmitter* (Process Sensors Corporation, Portugal) é um equipamento que consegue ler em tempo real, através de radiação infravermelha, a humidade e a gordura da batata frita na linha de produção. Através de parâmetros internos do próprio equipamento é possível calibrá-lo de forma a aproximar as leituras obtidas o mais próximo possível com as humidades lidas em laboratório e, desta forma, aumentar a exatidão do mesmo.

### 3 Apresentação da SIA

A Sociedade Industrial de Aperitivos, também designada por SIA, é uma empresa portuguesa que se situa na Zona Industrial de Tentúgal que tem como base de negócio a produção e embalamento de batatas fritas e também o embalamento de aperitivos, mais especificamente cones de milho.



*Figura 1 - Logotipo da empresa.*

Foi fundada em 1971 em Matosinhos com a designação de Pinhos&Silva, e só em 1990 foi denominada de Sociedade Industrial de Aperitivos. Nesse mesmo ano foram introduzidas no mercado as Douradas Caseiras e as Super Douradas (Figura 2), marcas próprias da SIA e que ainda se encontram hoje no mercado atual.

Em 1991 a SIA foi adquirida pelo Grupo Longa Vida e, no mesmo ano, foi instalada na vila de Tentúgal a primeira linha de produção de Batata Frita e Snacks.



*Figura 2 – Batatas fritas da marca SIA.*

Ao longo dos anos a direção da SIA foi sofrendo alterações, desde a sua aquisição pelo grupo inglês *United Biscuits* e mais tarde pelo grupo espanhol *Grefusa*. No ano de 2007 a SIA volta a ser propriedade portuguesa em consequência do investimento de dois acionistas portugueses. Em 2011 iniciou-se um período de investimentos que tiveram

como objetivo a duplicação da capacidade produtiva e a modernização das instalações, sendo que hoje a SIA possui três linhas de fritura, F1000\_1, F1000\_2 e H&C, que permitem a produção anual de 13.000 toneladas de batatas fritas.

De momento para além de produtos de marca própria, a SIA produz também marcas de distribuidor, nomeadamente *Continente*, *Pingo Doce*, *Auchan*, *Minipreço*, *Intermarché*, *Lidl*, *Mercadona*, entre outras. A gama de produtos oferecida pela SIA é caracterizada pela sua extensa diversidade, a começar pelo tipo de corte da batata (lisa, ondulada, palha fina, palha larga e palha extrafina), o tipo de banho de fritura (azeite, girassol e palma) e pelos mais diversificados aromas (ketchup, campesinas, presunto, mostarda e mel, ovo e presunto, churrasco, creme e cebola, entre muitos outros).

Em 2018 teve um volume de exportação de 18,4% e transformou aproximadamente 46.224 toneladas de batata crua. A empresa conta atualmente com 240 colaboradores.

Com o acentuado crescimento ao longo dos anos a SIA comprometeu-se a cumprir com os mais requisitos legais de qualidade, segurança no trabalho, ambiente e saúde, sendo certificada atualmente pela IFS Food, ISO 9001, ISO 14001, ISO 18001 e ISO 22000, acrescentando desta forma valor ao produto e segurança aos consumidores/clientes finais.

Em 2014 a SIA entra no Grupo ALTHO, líder em França na produção de batatas fritas, ganhando uma posição de vantagem no mercado Europeu.

Ao longo dos anos, a Sociedade Industrial de Aperitivos tem tido um crescimento sustentado, assente numa política de bom enquadramento de mercado, fruto de uma gestão inovadora e eficaz, evidenciada pelo contínuo crescimento do volume de vendas e pelo aumento significativo das instalações. É uma empresa que se encontra em constante inovação, tanto a nível de produtos como de processos, focando-se sempre na melhoria contínua.

## **4 Processo de Fabrico**

As matérias primas utilizadas na produção de batatas fritas são a batata crua, o óleo de fritura e sal ou aromas. A SIA possui três linhas de fritura que trabalham em contínuo e que são responsáveis pela transformação anual de aproximadamente 15.000 toneladas de batata crua. A produção é contínua e é dividida em 3 turnos rotativos 24h por dia.

### **4.1 Caracterização do processo de fabrico**

#### **1. Receção da batata crua**

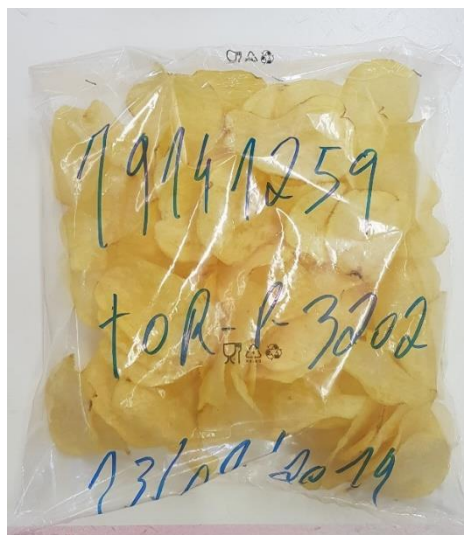
A quantidade de batata que chega à SIA varia em função do plano de produção lançado semanalmente tendo em conta os pedidos, as existências de produto acabado em armazém, quantidades orçamentadas, histórico de vendas e as capacidades intrínsecas dos equipamentos.

A receção da batata é efetuada na zona Agro e à chegada do lote são retiradas duas amostras de 10 kg de forma a validar a homogeneidade do lote recebido. As amostras recolhidas são analisadas para garantir que o lote é adequado para seguir para a produção e minimizar os problemas em processo. Os critérios analisados passam por:

- Avaliação dos tubérculos (defeitos internos e externos);
- Presença de resíduos;
- Medição da temperatura e dos açúcares dos tubérculos;
- Determinação do teor de matéria seca da batata;
- Fritura da batata para avaliação da cor e comportamento dos defeitos depois de frita.

Os resultados da avaliação dos lotes são transmitidos à Produção e ao Laboratório de Controlo de Qualidade, de forma a prever o seu comportamento e preparar a sua entrada em processo.





*Figura 3 – Apresentação do lote à Produção e Laboratório.*

No caso de o lote ser aprovado, as batatas passam por um removedor de lamas e de terras seguindo-se um calibrador automático que elimina as batatas de menor e maior calibre. Posteriormente é sujeita a uma inspeção e escolha manual antes do seu armazenamento temporário nas tulhas.

## **2. Lavagem**

A batata crua é submetida a uma primeira lavagem passando por um circuito com água corrente (Figura 4) onde são forçadas a colidir com as paredes e com outras batatas, facilitando assim a separação da terra que vem agregada à batata.



*Figura 4 -Processo de lavagem da batata.*

## **3. Pelagem**

Após a lavagem, as batatas são encaminhadas para os descascadores onde a batata é projetada contra a superfície interna abrasiva do próprio descascador. O nível de descasque da batata é um fator importante dado que um descasque ineficiente leva a

um aumento de defeitos em fases posteriores, e um descasque exagerado leva a uma perda de rendimento de batata.

#### **4. Inspeção em cru/Seleção**

Depois do processo de pelagem, as batatas passam por uma mesa de rolos onde é feita uma inspeção manual (Figura 5). Nesta etapa, as batatas de maior calibre são cortadas de forma a uniformizar o tamanho do lote e as batatas que possuam defeitos visíveis são também retiradas.



*Figura 5 – Seleção manual da batata.*

#### **5. Corte**

Através da força centrífuga, as batatas descascadas são projetadas em direção às paredes dos cortadores que possuem na sua constituição lâminas. Estas lâminas definem o tipo de corte que se pretende produzir (rodela lisas, onduladas, palha, etc.). Nesta etapa é também definida a espessura da batata, um parâmetro bastante importante e que garante o controlo de desperdício.

## 6. Lavagem das rodelas

As rodelas de batata são, posteriormente, encaminhadas para os tanques de lavagem através de tapetes. As rodelas são lavadas de forma a eliminar o amido presente na superfície das batatas e possíveis resíduos provenientes do processo de corte (Figura 6). O sal pode ser adicionado nestes tanques de lavagem e atuar assim como uma salmoura antes das batatas seguirem para a fritadeira.



Figura 6 – Lavagem das rodelas após o corte.

## 7. Fritura

Ao chegar à fritadeira, as rodelas são imersas em meio de fritura a temperaturas elevadas, porém é garantido que o mesmo à saída da fritadeira seja sempre inferior a 168°C. Nesta etapa, o óleo quente provoca a desidratação da batata. A água presente é libertada rapidamente sob forma de vapor e o óleo vai ocupar parte do espaço deixado livre por esta.

As fritadeiras possuem no seu interior pás rotativas e tapetes que forçam as rodelas a ficar submersas no óleo e ajudam à normal movimentação da mesma até à sua saída. Na Figura 7, de seguida apresentada, é possível observar uma esquematização do interior da fritadeira.

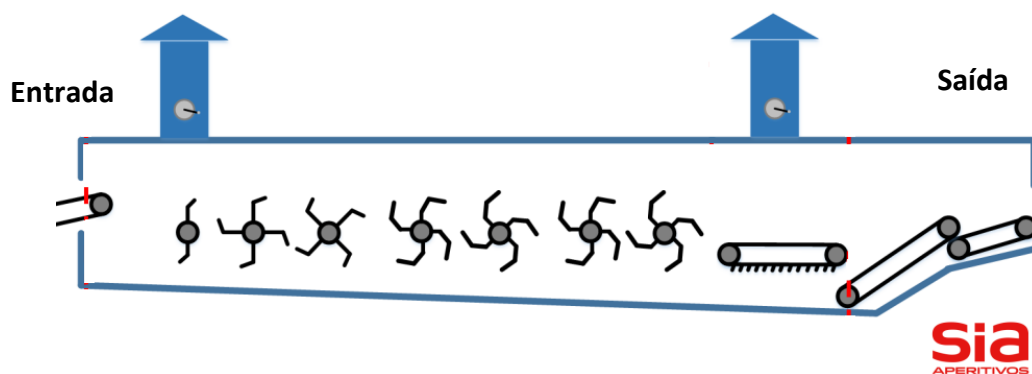


Figura 7 – Representação esquemática do interior da fritadeira

À medida que o processo de fritura decorre, parte do óleo da fritadeira é absorvido pela batata e arrastado por ela provocando a “perda” de óleo constante. De forma a garantir o nível e qualidade do óleo de fritura, óleo novo é constantemente adicionado à fritadeira. Esta etapa é uma das etapas que mais impacto tem no teor de acrilamida obtido no produto final. O binómio tempo/temperatura é um parâmetro manipulável e que pode ser ajustado para obter melhores resultados. Se a temperatura for muito elevada, o teor de acrilamida é tendencialmente mais elevada e vice-versa. Porém, se a temperatura for demasiado baixa, a batata acaba por não ficar crocante e, apesar de se obter níveis mais baixos de acrilamida, a textura pode ser negativamente afetada.

## **8. Inspeção manual e automática**

À saída da fritadeira as batatas fritas são encaminhadas, através de um tapete, para um equipamento de inspeção automática (OPTIX, KEY Technology, USA) que seleciona, através da cor da batata, quais é que devem ser rejeitadas. Apesar de os parâmetros poderem ajustados, o princípio base do OPTIX é rejeitar as batatas que possuam uma coloração mais escura. A batata identificada por este equipamento como não conforme é retirada do tapete com recurso a ar comprimido e devidamente encaminhada.

Após esta inspeção as batatas passam ainda por uma mesa vibratória para uma última inspeção manual que é executada por um colaborador (Figura 8).



*Figura 8 – Inspeção da batata após o processo de fritura.*

Na saída da fritadeira existe também um equipamento, o *Multiple Constituent Transmitter* (MCT), que mede o teor de humidade e gordura das batatas fritas em linha permitindo um maior controlo de todo o processo produtivo e aplicações de medidas corretivas. O modo de funcionamento deste equipamento e a sua importância no processo produtivo será abordado na secção 5.

## **9. Adição de sal/aroma**

Após a inspeção, as batatas fritas são encaminhadas com a ajuda de elevadores até ao sistema de aromatização constituído por 6 tambores (Figura 9) responsáveis pela incorporação do aroma nas batatas.



*Figura 9 – Tambor de aromatização.*

## **10. Embalamento**

Depois da adição do aroma/sal, a batata segue para o embalamento. Com a ajuda das tremonhas (Figura 10) a batata é pesada pelo próprio equipamento que só deixa a batata seguir quando o peso predefinido é atingido sendo depois encaminhada para as bolsas. O embalamento prossegue à medida que a tremonha vai largando produto sendo selado termicamente e devidamente identificado (lote interno).



*Figura 10 – Tremonhas.*

## **11. Armazenamento e expedição**

Os pacotes de batata são, posteriormente, colocados em caixas e devidamente paletizados. Os produtos são transportados até ao armazém de produto acabado onde permanecem até à sua expedição para o cliente.

## **5 Calibração dos MCT's na determinação dos teores de humidade e gordura em linha**

O aumento da competitividade do setor alimentar obrigou à implementação, por parte das indústrias, de dinâmicas de modernização e inovação dos seus processos de fabrico que correspondessem às exigências do mercado atual, cada vez mais rígido em relação à qualidade alimentar. Manter a estabilidade de todos os parâmetros e variáveis à escala industrial não é de todo um processo fácil e, por essa razão, uma análise rápida e contínua de um produto é um parâmetro crítico na maioria dos processos de fabrico.

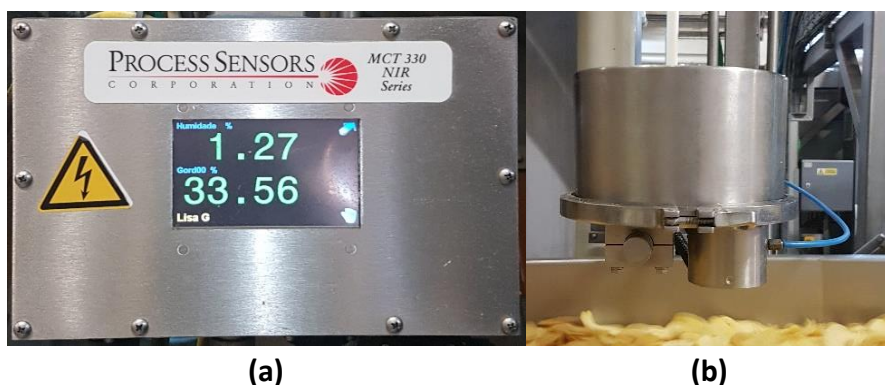
Com o objetivo de manter a qualidade, aumentar a produtividade, maximizar a eficiência e diminuir o desperdício, o MCT consegue medir a humidade e a gordura da batata frita em tempo real.

Várias técnicas de espectroscopia têm sido aplicadas nos últimos anos nos mais diversos processos e indústrias. A espectroscopia NIR, utilizada pelo MCT, tem cada vez mais despertado grande interesse devido às suas vantagens como ferramenta analítica. Uma das principais vantagens é o facto de não necessitar de preparação da amostra, poupando tempo e reagentes. É uma técnica não destrutiva e não invasiva e, o seu tempo de análise é de apenas alguns segundos. A interação entre a radiação NIR e a matéria pode fornecer informação qualitativa e quantitativa avaliada a partir da composição química e física da amostra (Reich 2005; Leitão 2012).

A radiação NIR possui baixa energia e a sua interação com o produto produz apenas vibrações da molécula que originam espectros através da absorção da radiação infravermelha. A ligação O-H presente na molécula de água e a ligação C-H presente nos óleos e gorduras absorvem esta radiação em vários comprimentos de onda específicos. Esta absorção é proporcional à quantidade do constituinte nesse produto e os pulsos elétricos resultantes da luz refletida são matematicamente tratados e convertidos em percentagem de humidade e gordura (Leitão 2012).



O equipamento de que a SIA dispõe é constituído por um sensor (Figura 11 (b)) e por um ecrã (Figura 11 (a)) que dá a informação em tempo real da humidade e da gordura da batata frita na linha de produção.



*Figura 11 – Equipamento MCT: (a) ecrã (b) sensor.*

Através do programa informático do equipamento, os resultados do processo são apresentados graficamente de forma a facilitar o acompanhamento dos parâmetros ao longo do processo e a adotar as medidas corretivas convenientes.

Na Figura 12, de seguida apresentada, são visíveis 3 janelas. Cada uma delas representam os valores de humidade e gordura lidos em tempo real por cada MCT presente em cada linha de fritura. Quando os valores se aproximam ou ultrapassam os limites estabelecidos internamente, a cor apresentada pelos gráficos é alterada facilitando a perceção por parte das analistas das condições do processo. Desta forma torna-se mais fácil iniciar a adoção de medidas corretivas para que determinados parâmetros (como temperatura, caudal de batata, espessura, etc.) sejam alterados e que os valores *standard* sejam novamente reestabelecidos.



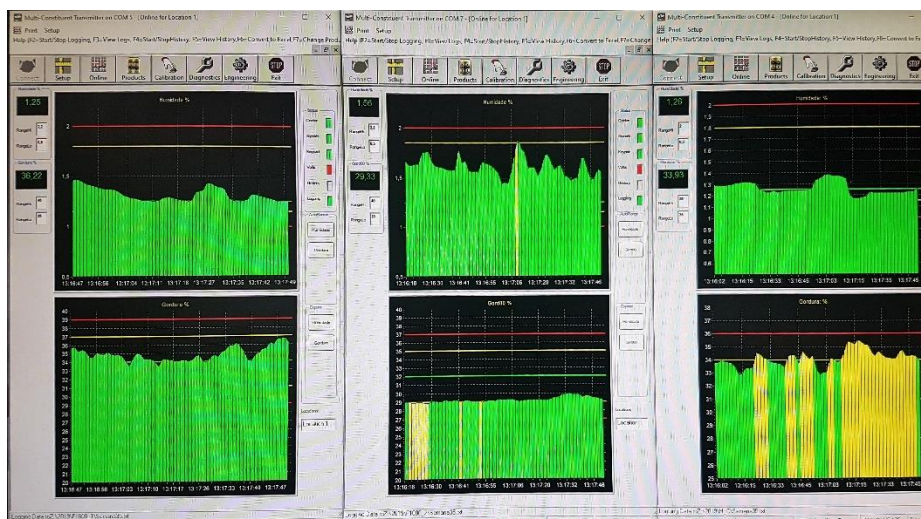


Figura 12 – Apresentação dos valores de humidade e gordura em laboratório.

O MCT pode ser calibrado recorrendo a métodos matemáticos e estatísticos que realizam uma calibração multivariada a partir de vários comprimentos de onda. Através de uma regressão linear, o MCT ajusta os parâmetros internos de modo a que as leituras coincidam ou se aproximem o máximo possível com as medidas em laboratório. Deste modo são recolhidas várias amostras e colocadas por baixo do sensor do MCT durante um período de tempo definido e, após esta leitura, a humidade e gordura da amostra é analisada em laboratório utilizando a balança de humidade e o extrator de gordura Soxtherm, respetivamente. Após a obtenção dos resultados laboratoriais e da aquisição dos valores lidos pelo MCT, é realizada uma regressão linear que nos permite ajustar ou implementar uma nova calibração.

## 5.1 Teor de humidade da batata após fritura

A batata é recolhida da linha após o processo de fritura e triturada no moinho obtendo-se a batata com uma granulometria bastante fina. A humidade em laboratório é medida recorrendo a uma balança de infravermelho que funciona de acordo com o princípio termogravimétrico. Para medir o teor de humidade, a balança analisa a perda de peso durante o aquecimento, com recurso a um radiador de halogéneo interno que aquece até sensivelmente aos 135°C, até o seu peso ser constante, significando assim

que não existe mais água presente na amostra. O teor de humidade é então calculado comparando o peso inicial com o peso final conforme a seguinte equação:

$$\%h = \frac{(m_a - m_b) \times 100}{m_a}$$

Em que,

$m_a$  – peso da amostra inicial de batata [g]

$m_b$  – peso da amostra final de batata[g]

O método laboratorial mais comum utilizado para a medição da humidade é com a utilização da estufa. Porém, esse método é muito mais moroso e a procura por resultados rápidos é cada vez mais um requisito prioritário em qualquer indústria.

Internamente, houve a necessidade de elaborar um pequeno estudo com o objetivo de verificar se os resultados obtidos pela balança de infravermelhos estariam próximos dos obtidos em estufa. De uma mesma amostra de batata recolhida em linha, 5 g foram colocadas na balança e outras 5 g foram colocadas na estufa a uma temperatura de 103°C durante um período de 3 horas. Repetidas estas análises em 34 amostras, os valores obtidos foram registados e tratados graficamente (Figura 13).

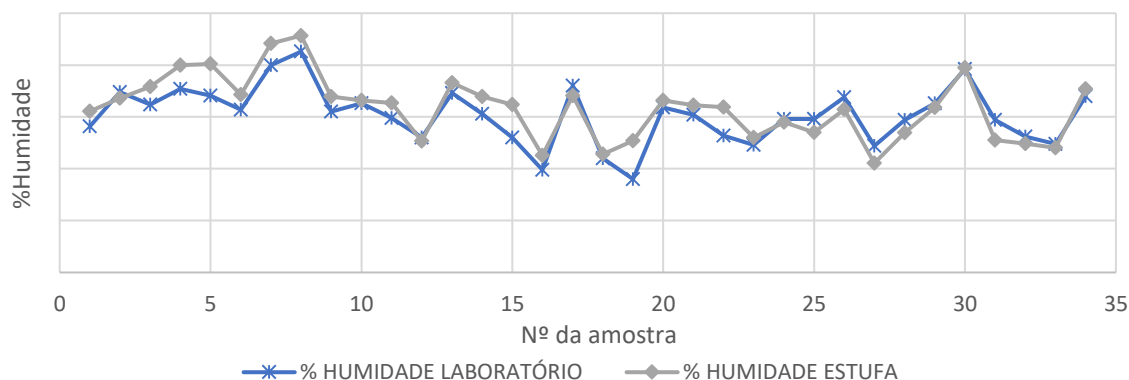


Figura 13 – Resultados obtidos dos dois métodos de análise de humidade: em Laboratório (azul) e na Estufa (cinza).

A diferença máxima obtida entre os dois métodos foi de 0,37% e a mínima de 0,013%, sendo que a média da diferença obtida no global foi de 0,13%.

O tempo de leitura da balança varia muito com a percentagem de humidade da amostra, no entanto este tempo não excede os 6/7 minutos. Esta é uma das grandes vantagens da sua utilização quando comparada com a estufa. O facto de a temperatura a que a amostra é submetida, neste caso a 135°C, ser superior à temperatura de ebulição da água, 100°C, faz com que o processo de secagem acelere e que a obtenção de resultados seja mais rápida.

Dadas as inúmeras vantagens da utilização da balança, e tendo em consideração que a diferença média obtida entre ambos os métodos não é significativa (0,13%), e que pode eventualmente ser resultado dos erros associados à pesagem e manipulação da estufa durante o processo de secagem das amostras, esta pode ser considerada uma boa referência para a medição dos níveis de humidade.

## 5.2 Teor de gordura da batata após fritura

Analogamente ao que foi realizado para a humidade, as amostras de batata também foram retiradas em linha que posteriormente, pelo método de *Soxtherm* (Gerhardt Analytical Systems, Germany), foram analisadas quanto ao seu teor de gordura.

A amostra de batata retirada da linha é triturada no moinho e são colocadas no vaso de extração cerca de 5/6g. Como solvente é utilizado o éter de petróleo que é adicionado ao vaso de extração. Este vaso é colocado no *Soxtherm* e aquecido até uma temperatura de 150°C durante aproximadamente 2h30. Quando o programa termina os vasos são colocados na estufa a 103°C até ser obtido um peso constante.

A percentagem de gordura final da amostra é calculada da seguinte forma:

$$w = \frac{(m_2 - m_1) \times 100}{m_0}$$

Em que,

$m_0$  – Peso da amostra inicial de batata [g]

$m_1$  – Peso do vaso com os *boiling stones*<sup>1</sup> [g]

$m_2$  – Peso final (vaso com *boiling stones* e a gordura) [g]

O sistema de extração *Soxtherm* é um sistema rápido e bastante versátil dado que o dispositivo funciona de forma totalmente automática e pode ser operado sem qualquer tipo de supervisão. Uma das vantagens deste equipamento é o facto de conseguir recuperar quase na totalidade o solvente utilizado.

### 5.3 Resultados

#### Humidade

Os resultados obtidos pela balança e pelo MCT foram introduzidos numa folha de cálculo já predefinida para o tratamento de dados (Anexo I).

Foram analisadas 97 amostras e observou-se uma relação instável entre as humidades obtidas por cada um dos métodos (Figura 14). Isto demonstra que o equipamento já não se encontra calibrado e que os valores lidos por este não são os reais.

---

<sup>1</sup> As *boiling stones* são pedras de tamanho pequeno que tornam o processo de ebulição menos turbulento.

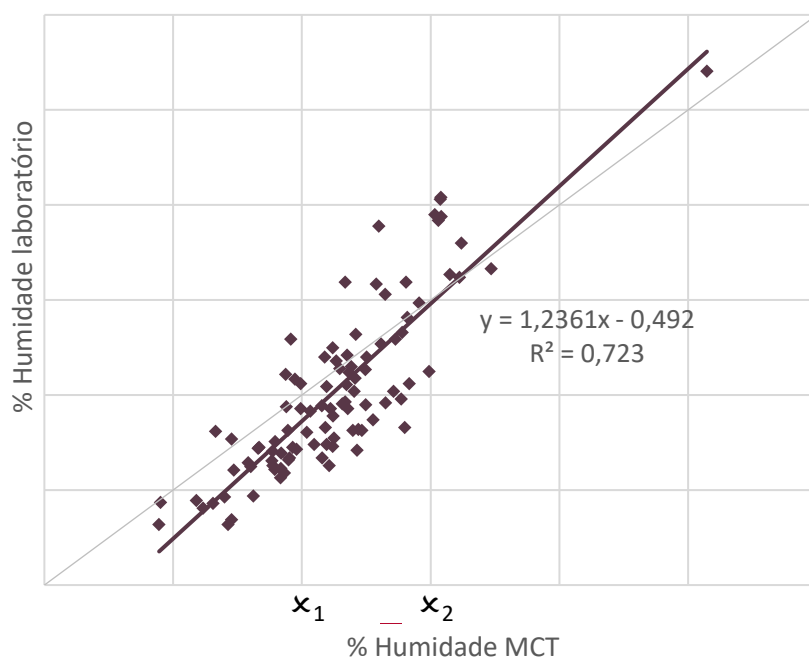


Figura 14 - Relação entre a humidade obtida em laboratório e no MCT.

A diferença média obtida entre as medições da balança e do MCT foram de 0,23%, no entanto obteve-se uma diferença máxima de 0,591% e mínima de 0,045%.

O objetivo de uma calibração é estabelecer a exatidão de um ou mais sistemas de medição, ou seja, aumentar o grau de concordância entre um resultado de uma medição e um valor de referência, muitas das vezes medido em laboratório.

Se correlacionarmos os valores de humidade de cada método de medição utilizado, obtém-se o gráfico de dispersão apresentado na Figura 14.

A Figura 14 mostra que a nuvem de resultados se encontra ainda muito dispersa, principalmente quando a humidade se situa entre  $x_1$  e  $x_2^2$ , resultando num valor de coeficiente de correlação  $R^2 = 0,723$ . Deste modo é possível afirmar que a relação entre ambas as humidades não é satisfatória e que há a necessidade de calibrar o equipamento de forma a obter resultados mais próximos e fiáveis.

Através do tratamento de dados e modificação de parâmetros internos do próprio equipamento, foi possível realizar uma nova calibração.

<sup>2</sup> Valores não apresentados por motivos de confidencialidade exigidos pela SIA.

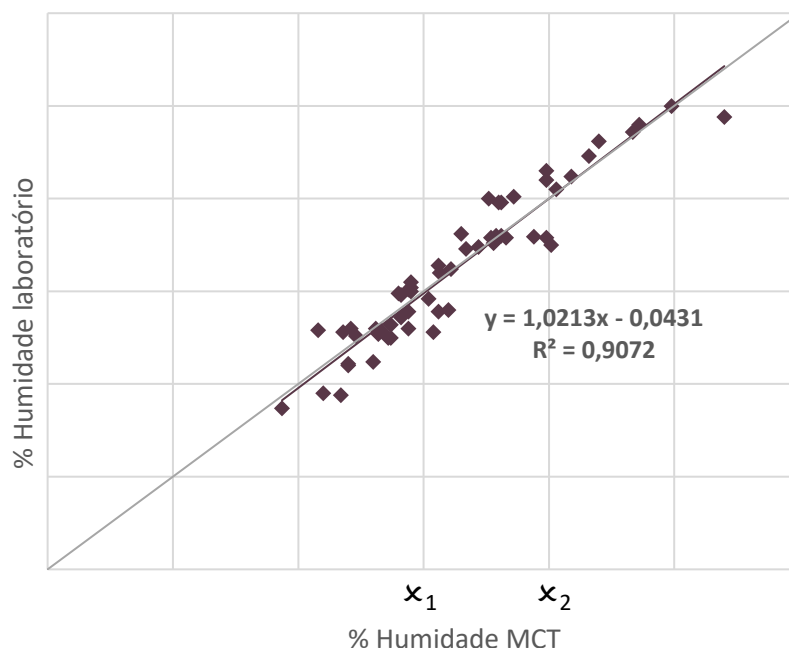


Figura 15 - Relação entre a humidade obtida em laboratório e no MCT após calibração

Após a calibração do equipamento, neste caso aplicado ao processo Palha Fina na linha de fritadeira F1000\_2, a diferença média global das humidades obtidas foi de 0,08%, com uma diferença máxima de 0,28% e mínima de 0,0%.

Desta forma foi possível diminuir a diferença média de 0,23% para 0,08%, uma diferença notável e que permite aos colaboradores uma maior confiança nos valores apresentados na linha de produção.

O coeficiente de correlação simples ( $R^2$ ) é muito utilizado como uma medida da qualidade do ajustamento ou como medida da qualidade de confiança na equação de regressão obtida como instrumento de precisão. Quanto mais este valor se aproximar de 1 mais confiança podemos ter nos resultados obtidos e vice-versa.

A reta de calibração obtida após a calibração (

Figura 15) indica um bom coeficiente de correlação ( $R^2=0,907$ ) quando comparada com a obtida inicialmente na Figura 14 ( $R^2=0,723$ ).

A nuvem de dispersão referida da Figura 14 também diminuiu visivelmente quanto comparada com a da **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** para valores de humidade situados entre  $x_1$  e  $x_2$ . Os resultados obtidos demonstram que o processo de calibração foi executado com sucesso.

Esta segurança permite aos colaboradores da SIA um maior controlo sobre o processo e aplicação de medidas corretivas quando os valores ultrapassam os limites estabelecidos. Desta forma é possível reduzir o desperdício de batata, garantindo uma maior estabilização de todo o processo produtivo.

A aplicação desta metodologia foi também aplicada aos restantes processos produzidos na SIA. Os resultados obtidos encontram-se resumidos de seguida na Tabela 1.

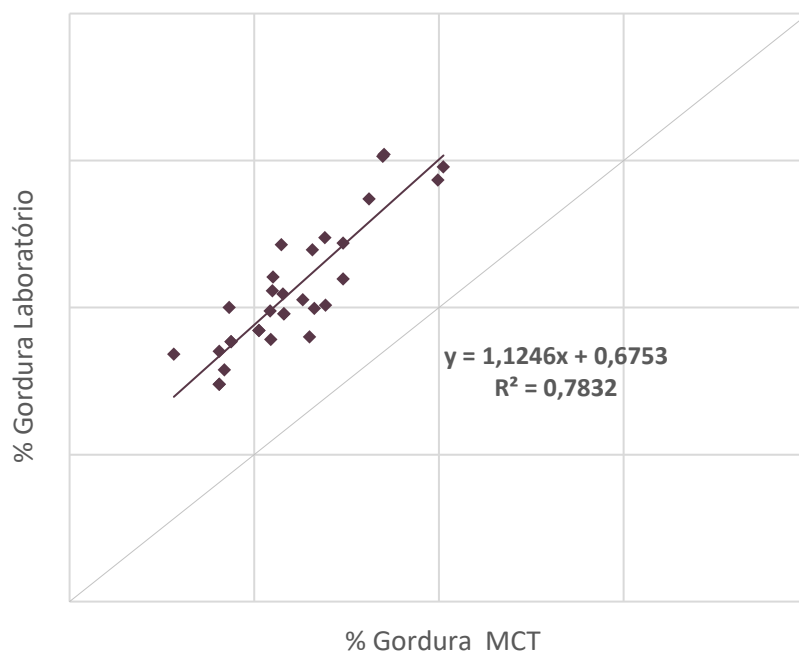
*Tabela 1 – Resultados obtidos da calibração da humidade nos MCT's para diferentes processos.*

		Diferença média antes da calibração	Diferença média após a calibração
Linha F1000_1	Ondulada Palma/Girassol	0,37%	0,10%
	Lisa Palma/Girassol	0,23%	0,09%
	Artesanal Palma/Girassol	0,22%	0,11%
Linha F1000_2	Artesanal Palma/Girassol/Azeite	0,25%	0,11%
	Lisa Palma/Girassol	0,26%	0,09%
	Palha Fina	0,23%	0,08%
Linha H&C	Light Palma/Girassol	0,35%	0,10%
	Gourmet	0,29%	0,12%

Em média, foi possível reduzir o erro associado às leituras dos MCT's em 0,18%. Esta diminuição permitiu uma maior aproximação dos valores apresentados pelo equipamento em linha aos valores reais medidos em laboratório.

## Gordura

Os resultados de gordura obtidos foram inseridos numa folha de cálculo idêntica à utilizada na medição de humidade (Anexo I) e os dados foram tratados graficamente.



*Figura 16 - Relação entre o teor de gordura obtida em laboratório e no MCT.*

Na Figura 16 é visível a discrepância entre os valores lidos pelo MCT e os obtidos em laboratório. Nas 31 amostras analisadas, a média da diferença entre ambos os métodos foi de 4,54%, com uma diferença máxima de 6,69% e mínima de 2,51%. Esta diferença evidencia mais uma vez que os valores apresentados não correspondiam aos valores reais.



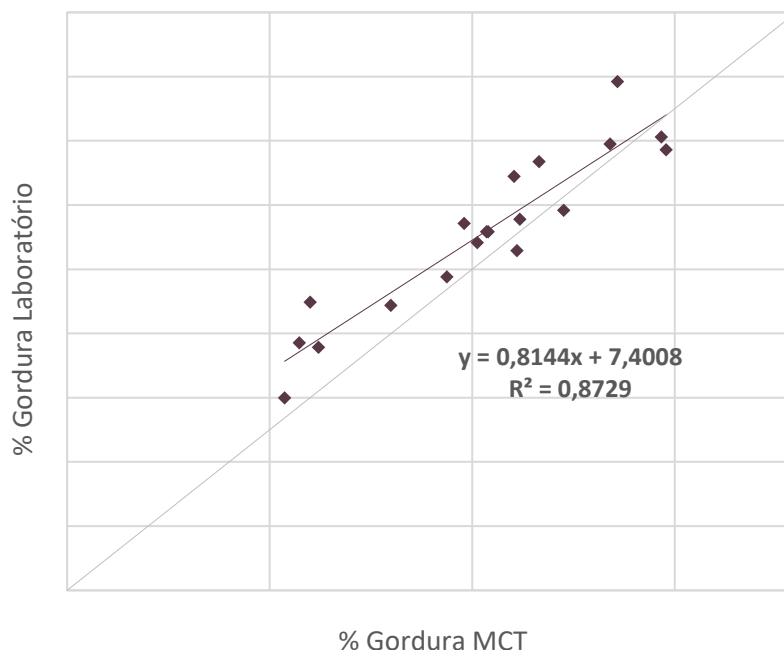


Figura 17 - Relação entre a humidade obtida em laboratório e no MCT após calibração.

Na Figura 17 observa-se que após a calibração os resultados de gordura lidos pelo MCT estão mais próximos dos obtidos em laboratório pelo método *Soxtherm*. Nas 19 amostras analisadas, a diferença média entre ambos os métodos foi de 1,15%, com uma diferença máxima obtida de 2,84% e mínima de 0,026%.

Esta proximidade de valores permite uma maior segurança nos valores registados em todo o processo e na tomada de medidas corretivas de imediato quando os valores se desviam dos limites estabelecidos. O valor de coeficiente de correlação após a calibração ( $R^2=0,87$ ) mostrou ser superior ao obtido inicialmente ( $R^2=0,78$ ). Desta forma os valores lidos pelo MCT aproximaram-se bastante dos valores medidos em laboratório, passando de uma diferença média de 4,54% para 1,15%. O facto de as variedades de batata terem sido diferentes ao longo de todo o processo, devido à sua sazonalidade, pode influenciar os resultados obtidos. Por esse motivo, é importante manter um acompanhamento principalmente no caso do aparecimento de novas variedades.

Apesar de ser um método de análise simples e versátil, o método de *Soxtherm* não pode ser introduzido nas análises de rotina no laboratório. O facto de o tempo de análise total ser ainda demorado (2h30 no equipamento mais tempo indefinido na estufa) torna

o método de difícil aplicação, pois o resultado só seria obtido horas depois da batata ser recolhida. Desta forma qualquer tipo de ação corretiva não seria aplicada no imediato e durante esse espaço de tempo muitos outros parâmetros poderiam influenciar o teor de gordura (como por exemplo a variedade da batata, a matéria seca, mudança de processo, etc.) e a análise obtida não teria qualquer utilidade.

Por essa mesma razão o MCT tem um papel muito importante no controlo dos teores de gordura durante os processos de fabrico.

A aplicação desta metodologia foi também aplicada aos restantes processos produzidos na SIA. Os resultados obtidos encontram-se resumidos de seguida na Tabela 2-

*Tabela 2 – Resultados obtidos da calibração do teor de gordura nos MCT's para diferentes processos.*

		<b>Diferença média antes da calibração</b>	<b>Diferença média após a calibração</b>
<b>Linha F1000_1</b>	Ondulada Palma/Girassol	1,70%	1,12%
	Lisa Palma/Girassol	3,52%	0,75%
	Artesanal Palma/Girassol	2,8%	1,19%
<b>Linha F1000_2</b>	Artesanal Palma/Girassol/Azeite	1,79%	0,82%
	Lisa Palma/Girassol	5,28%	0,87%
	Palha Fina	4,54%	1,15%
<b>Linha H&amp;C</b>	Light Palma/Girassol	4,43%	1,17%
	Gourmet	1,61%	0,80%

Analisando os resultados da Tabela 2 é visível a diminuição da diferença média obtida após a aplicação das calibrações. Os resultados são efetivamente muito positivos e resultaram numa diminuição média do erro em 2,23%, permitindo desta forma aos colaboradores uma maior confiança nos valores de gordura apresentados pelo equipamento.

Os gráficos obtidos das calibrações aplicadas, tanto para a gordura como para a humidade, podem ser consultados no Anexo II, III e IV.

## 6 Acrilamida

### 6.1 Introdução

Em abril de 2002, as autoridades, indústrias alimentares e consumidores foram surpreendidos pela descoberta inesperada, em muitos alimentos confeccionados termicamente a temperaturas elevadas, de uma substância que até então era conhecida apenas como um reagente químico. Até então este químico tem atraído um interesse crescente da opinião pública e a atenção de muitos cientistas. A principal preocupação deve-se, em grande parte, ao facto de a acrilamida ter sido classificada como um carcinogénico pela *International Agency for Research on Cancer* (Food Drink Europe 2013).

Em 1997, durante a construção de um túnel rodoviário na Suécia, foi incorporada acrilamida numa mistura líquida. Contudo, após a ocorrência de infiltrações de água, foi observado que a acrilamida que não havia solidificado misturou-se com a água acabando por confluir num rio adjacente, provocando a morte de peixes e a paralisia de vacas que beberam a água contaminada, transformando-se num escândalo social. Perante esta realidade, foram efetuadas análises ao sangue a trabalhadores do túnel, tendo-se encontrado fragmentos de acrilamida ligados à hemoglobina. Surpreendentemente, foram encontrados fragmentos idênticos no sangue dos indivíduos do grupo de controlo que não tinham sido sujeitos à exposição a esta substância. Este sim foi o ponto de partida para a descoberta, mais tarde, de que a presença de acrilamida estava relacionada também com a alimentação (Reynolds 2002).

Depois das primeiras descobertas deste químico em alimentos processados a altas temperaturas reportadas pela Universidade de Estocolmo e pela *Swedish National Food Agency*, que a indústria alimentar, os Estados-Membros e a Comissão Europeia, têm desenvolvido esforços consideráveis na investigação das vias de formação desta substância e na sua redução em alimentos transformados. O teor deste contaminante nos alimentos tem sido monitorizado por 25 países europeus e têm sido reportados à Autoridade Europeia de Segurança Alimentar (EFSA), permitindo a obtenção de valores indicativos.

Contudo, dado o enorme desconhecimento sobre o tema, estes valores são apenas indicativos e destinam-se apenas a servir de “valores de referência”. Atualmente o Regulamento 2017/2158 estabelece medidas de mitigação e níveis de referência para a redução da presença de acrilamida em vários géneros alimentícios, sendo o nível de referência para batatas fritas de pacote de 750 µg/kg (Europeias 2017).

Na Tabela 3 encontram-se alguns exemplos de alimentos e respetivos valores de referência estabelecidos pelo Regulamento.

*Tabela 3 – Níveis de referência estabelecidos pelo regulamento Europeu 2017/2158 em géneros alimentícios.*

<b>Género alimentício</b>	<b>Nível de Referência (µg/kg)</b>
Batatas Fritas (prontas a comer)	500
Batatas Fritas de pacote	750
Pão fresco	100
Cereais para pequeno almoço	300
Café torrado	400
Café instantâneo	850

Atualmente já existe um limite legal para o teor de acrilamida em água, estabelecido pela Diretiva 98/83/EC, pelo que é imperativo legislar os seus limites também em alimentos (Friedman 2003).

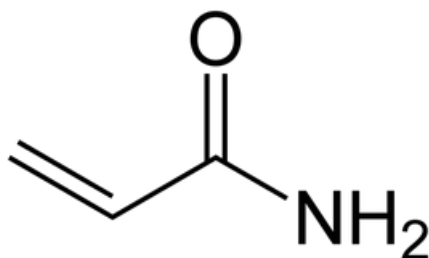
Existem diversos fatores que podem influenciar a formação de acrilamida em alimentos. Os mais importantes são a temperatura, o tempo de exposição a altas temperaturas, a quantidade de água, o pH, assim como a concentração dos compostos que contribuem para a sua formação, tais como açúcares e aminoácidos (Blank 2005).

A quantidade de acrilamida produzida aumenta geralmente com a temperatura, tendo, no caso de batatas fritas, a sua taxa de reação máxima a, aproximadamente, 190°C. A quantidade de acrilamida formada é favorecida pelo aumento da percentagem de água em condições de pH ligeiramente alcalino, pH ao qual o grupo amina da

asparagina se encontra mais reativo. Portanto, à medida que o pH diminui, é também reduzida a quantidade de acrilamida formada (Rydberg et al. 2005; Gökmen et al. 2007).

A acrilamida, ilustrada na Figura 18, é um composto altamente solúvel em água, incolor, de elevada polaridade, e com um ponto de fusão de 84,5°C. A acrilamida é um composto químico intermediário muito utilizado na produção de poliacrilamida. A poliacrilamida é um polímero usado sobretudo no processamento de papel, pasta de celulose, processamento de minerais, na formulação de plásticos e tintas, construção de estruturas como túneis e esgotos, etc. Este polímero é ainda aplicado como aditivo (floculantes, espessantes, fixantes e outros) para tratamento de águas e de resíduos, na estabilização dos solos, nas embalagens de alimentos e na indústria têxtil e cosmética.

Ao contrário da acrilamida, a poliacrilamida não é tóxica, mas é possível que permaneça sempre no produto final uma quantidade residual desta substância, o que poderá constituir um risco, principalmente no que diz respeito à água potável (Marisa e Bastos 2012).



*Figura 18 – Estrutura da acrilamida. Adaptado de Pedro Fischer de Almeida Serôdio 2015.*

## 6.2 Exposição à acrilamida

A exposição humana à acrilamida está dependente de várias fontes. Esta substância pode estar presente no ambiente, em cosméticos e até mesmo em fumo de tabaco, mas é a sua presença em produtos alimentares que tem gerado mais preocupação no que diz respeito à saúde pública, principalmente por não haver até ao momento muita informação sobre este tema.

Segundo a EFSA, cerca de 40% dos alimentos contêm acrilamida. A quantidade desta substância consumida varia não só com o tipo de alimentos como também com as porções ingeridas, que variam segundo as culturas e as regiões. Um alimento pode ter valores relativamente baixos e ser largamente consumido, tornando-se assim uma fonte importante de acrilamida numa determinada dieta. É de notar, por isso, que nos países ocidentais a maior parte da acrilamida consumida provém de alimentos de consumo diário como são exemplos o pão, bolachas, batatas fritas e café, produtos largamente consumidos.

Alimentos com elevado teor em hidratos de carbono, como batatas fritas, pães, bolachas, café e misturas de cereais, são os mais suscetíveis à formação de acrilamida.

Um estudo realizado por Boon et al. (2005) mostra que o alimento que mais contribui para a ingestão de acrilamida são as batatas fritas com uma percentagem de 31% (Figura 19). É de sublinhar que as bolachas e o pão aparecem também entre os alimentos que mais contribuem para a exposição desta substância com um valor de 11% e 10%, respetivamente.

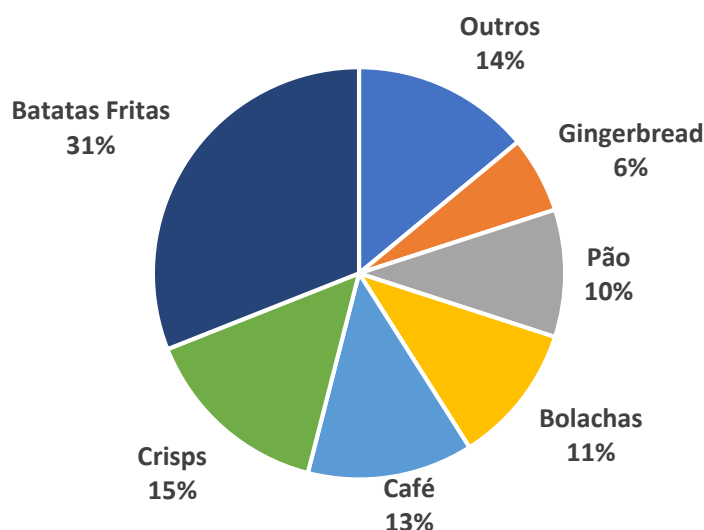


Figura 19 – Contribuição (%) do tipo de alimentos para a exposição da acrilamida na população. Adaptado de Boon et al. 2005.

Sendo um composto polar e de baixo peso molecular, a acrilamida é rapidamente incorporada e distribuída pelo organismo. Segundo a IARC, foi demonstrada em ratos

uma relação entre a exposição a este composto e o risco de contrair cancro em diversos órgãos (Bergmark 1997; Boon et al. 2005).

### 6.3 Formação de acrilamida pela reação de Maillard

As ordens de grandeza da composição da batata são de aproximadamente 75% de água, 20% de amido, 2,5% de proteína, 1,8% de fibra e 0,15% de ácidos gordos. O amido por sua vez representa 65 a 80% do conteúdo de matéria seca, sendo o seu componente de maior relevância nutricional. Os açúcares predominantes são a glucose e a frutose (0,3 a 4%) assim como a sacarose (0,1 a 12%). A batata contém ainda cerca de 1 a 3% de compostos azotados dos quais 35 a 80% correspondem a proteínas, sendo a parte restante constituída por aminoácidos livres. A asparagina representa frequentemente perto de 40% do total de aminoácidos presentes na batata (Bonierbale et al. 2010).

A acrilamida é formada em alimentos ricos em carboidratos quando processados a altas temperaturas ( $>120^{\circ}\text{C}$ ). Os açúcares, como a glucose ou a frutose, e o aminoácido asparagina reagem numa reação conhecida como reação de *Maillard*. Esta reação é complexa e em muitos casos desejável, gerando um conjunto vasto e importante de compostos responsáveis pelo aroma, sabor e cor de muitos alimentos. Portanto, qualquer medida a tomar para a minimização da formação deste composto deve ter em linha de conta que as propriedades organoléticas dos alimentos processados poderão ser negativamente afetadas (Xu, Oruna-Concha, e Elmore 2016).

No geral, a batata possui naturalmente na sua constituição os principais precursores à formação de acrilamida segundo esta reação.

A cinética da formação de acrilamida nas batatas fritas é bastante complexa de definir devido à forma da batata frita e do facto de que a maior parte da cor formada apenas se encontra na superfície. Dado que a cor da batata frita é resultado da reação da *Maillard*, é de esperar também que a formação de acrilamida ocorra mais predominantemente na sua superfície, onde a temperatura é mais alta e o teor de humidade mais baixo (Parker et al. 2012). No fundo, a sua formação não é mais que um produto intermediário resultante de uma sequencia de reações químicas não



enzimáticas entre a asparagina e os açúcares redutores, principalmente glucose e frutose (Antunes-Rohling et al. 2018).

Numa fase inicial, em consequência de um aumento da temperatura, existe uma reação entre o aminoácido asparagina com o grupo carbonilo disponível. Esta reação inicial leva à formação de uma base de *Schiff* instável e à libertação de água. Dá-se a descarboxilação da base de *Schiff* e, a partir deste ponto, existem dois mecanismos possíveis. No primeiro forma-se diretamente a acrilamida através de uma eliminação. No segundo, também da descarboxilação da base de *Schiff*, forma-se uma imina que, após sofrer uma hidrólise, forma a 3-aminopropanamida e outros compostos carbonílicos. Por fim, a 3-aminopropanamida é desaminada termicamente dando origem à acrilamida.

Na Figura 20 é possível analisar o processo de formação de acrilamida explicado anteriormente.

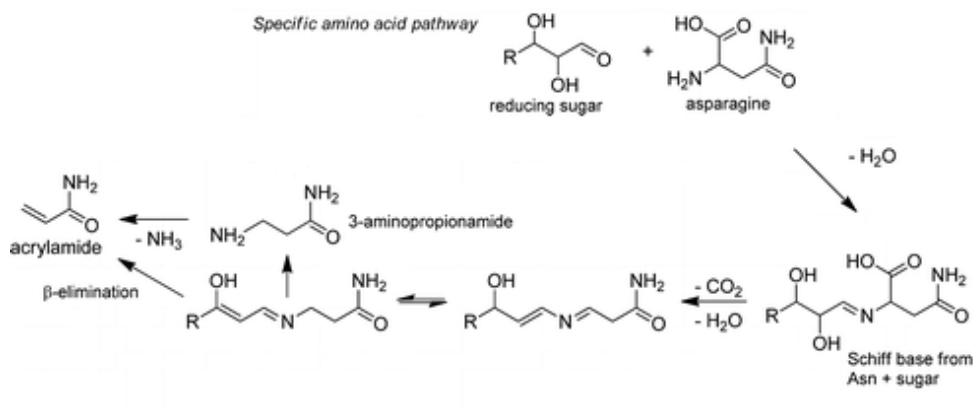


Figura 20 – Mecanismo de formação de acrilamida pela Reação de Maillard. Adaptado de Xu et al. 2016.

Os compostos que se produzem nas primeiras fases de reação apresentam propriedades físico-químicas (como ausência de cor, alta solubilidade em água e estabilidade ao calor) que diferem completamente das propriedades exibidas pelos produtos finais da reação, que geralmente apresentam fraca solubilidade e coloração mais forte. O escurecimento é a característica mais visível da reação de *Maillard*. A cor

produzida, a sua intensidade e as propriedades do produto final são fortemente dependentes da natureza dos reagentes e das condições de reação.

A acrilamida é formada na camada superficial da fatia/palito de batata e, por esse motivo, o seu tamanho e forma influenciam a sua concentração final. Quanto mais pequeno for o corte e espessura da batata, maior a área por volume do pedaço de batata e maior a quantidade de acrilamida que se forma. Isto porque quanto maior a área de contacto da batata com o óleo, maior é a quantidade de precursores presentes que estão expostos às elevadas temperaturas. Ainda, quanto maior e mais larga a fatia de batata, maior vai ser a diminuição da temperatura e maior vai ser o tempo necessário para fritar a batata (Antunes-Rohling et al. 2018) -

Embora a acrilamida seja formada maioritariamente em alimentos pela reação de *Maillard*, esta também pode ser formada por outras vias e ter outros precursores. Os lípidos têm também um papel importante principalmente na formação da acrilamida, isto porque esta pode também ser formada a partir dos triacilglicerídeos quando sujeitos a altas temperaturas, o que se torna importante em alimentos fritos. Estes processos são, no entanto, residuais quando comparados com a produção de acrilamida pela reação de *Maillard* ( Serôdio 2015).

Como já referido anteriormente, as batatas possuem precursores da reação de *Maillard* – açúcares redutores e asparagina – e a quantidade de cada uma delas na batata depende da sua variedade, do período da colheita, das características do solo e das condições de armazenamento, como por exemplo a temperatura e o tempo de armazenamento. As variáveis durante o processo de fritura que interferem com a formação de acrilamida dependem da temperatura e tempo de fritura, da superfície de contacto com o óleo, e da relação entre a batata e o óleo (Antunes-Rohling et al. 2018). Estudos recentes indicam ainda que o tipo de óleo utilizado por si só não é uma variável importante na formação de acrilamida, à exceção do azeite que aumenta significativamente a sua concentração no produto final (Pedreschi e Zuñiga 2009). Napolitano et al. (2008) defende que a existência de determinados componentes presentes em óleos podem de facto influenciar a formação de acrilamida durante a exposição da batata a altas temperaturas. O azeite, em particular, possui um conjunto

peculiar de compostos polares fenólicos que desencadeiam uma enorme variedade de reações.

#### 6.4 Método de análise da acrilamida

Para a determinação do teor de acrilamida no produto acabado foi utilizado o equipamento XPTO<sup>3</sup> que tem como base de funcionamento tecnologia de fluorescência. Este equipamento permite a medição do Índice de *Hagberg* (*Falling Number*) a partir de um sinal de fluorescência emitido pela amostra após a iluminação da mesma por UV visível. O Índice de *Hagberg* mede uma enzima específica: alfa-amilase. Esta enzima ataca as moléculas de amido quebrando-as em açúcares, o que faz com que níveis elevados se traduzam em um aumento de açúcares presentes. Este método de medição é bastante sensível e permite identificar, através dos comprimentos de onda, a composição das matrizes (Figura 21).

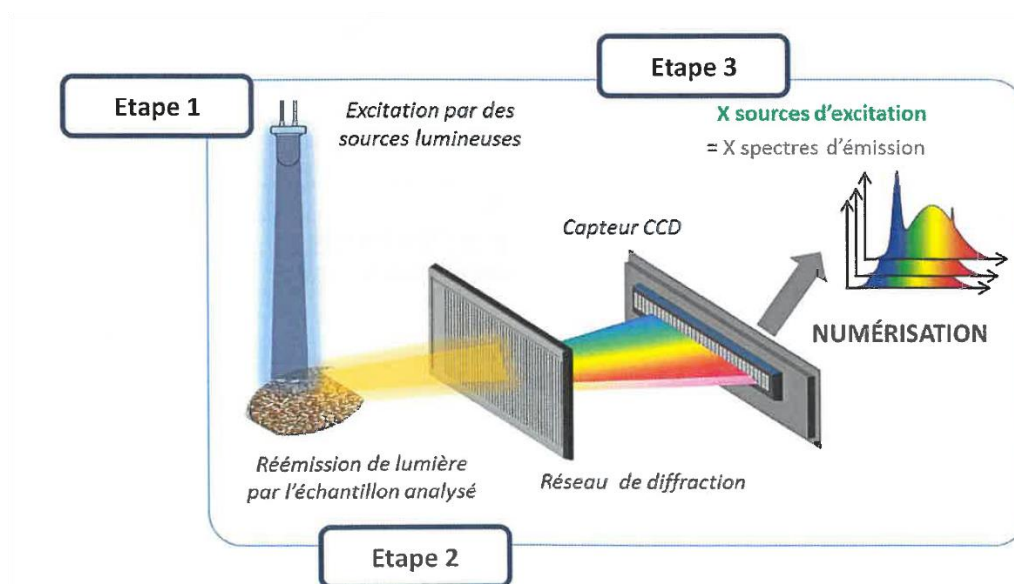
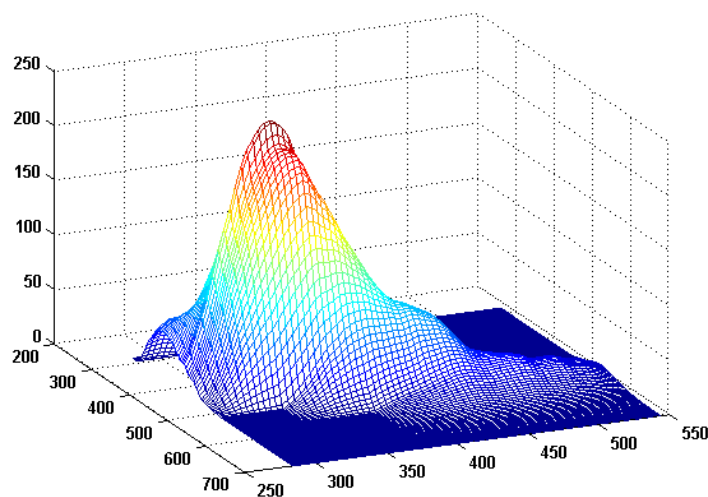


Figura 21-Descrição da aquisição dos espectros da amostra de batata frita pelo equipamento XPTO<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Nome não apresentado por motivos de confidencialidade exigidos pela SIA

Numa fase inicial, sinalizada como etapa 1 na figura anterior, existe a excitação das moléculas através de uma fonte luminosa (UV visível) que incide sobre a amostra. Parte desta energia luminosa é absorvida enquanto que outra parte é refletida por moléculas fluorescentes, que é o caso da acrilamida (Etapa 2). A energia luminosa refletida pela amostra é captada pelo espectrómetro que se encontra no interior do equipamento e que quantifica a acrilamida presente na amostra através do seu comprimento de onda (Etapa 3). Os espectros obtidos pelo equipamento são organizados numa estrutura de 3 dimensões que juntos constroem uma imagem (Figura 22).

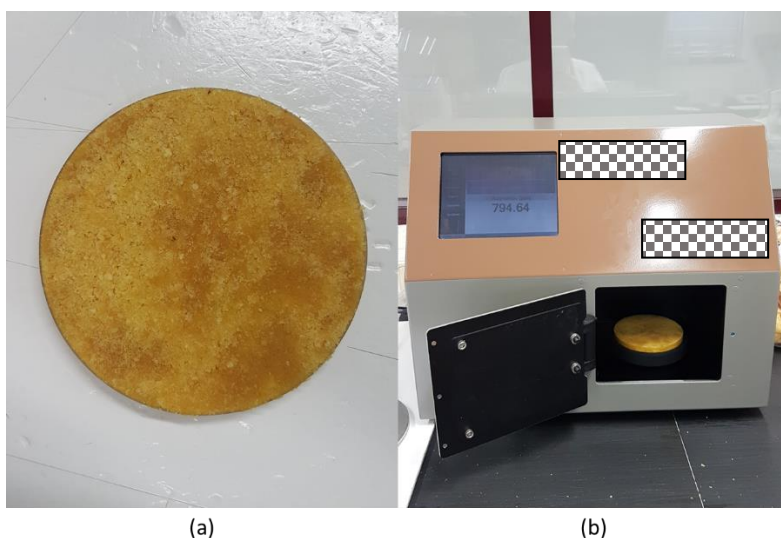


*Figura 22 – Representação dos espectros recolhidos pelo equipamento XPTO<sup>3</sup>.*

Cada amostra de batata frita recolhida em linha foi analisada em laboratório e, numa base de dados (Anexo V) criada com a finalidade de analisar e avaliar todos os parâmetros que poderiam influenciar a formação de acrilamida, foi registada a humidade da amostra, a variedade da batata, a matéria seca do lote da batata, a cor, o óleo de fritura e a temperatura de saída da fritadeira. Para complementar ainda mais a base de dados foram enviadas algumas amostras para laboratório externo acreditado.

## 6.5 Resultados

A batata frita recolhida em linha foi triturada no moinho, de forma idêntica explicada anteriormente na medição da humidade, e colocada numa base de uma caixa de Petri apropriada para o equipamento XPTO<sup>3</sup>. A superfície deve ser devidamente alisada para evitar pontos de refração (Figura 23 (a)). Após a preparação da amostra, a mesma é colocada no interior do equipamento (Figura 23(b)). Inicia-se o processo de medição e o resultado é apresentado no ecrã táctil do equipamento. O equipamento dispõe ainda de um acessório de calibração que é utilizado uma vez por dia para garantir a correta medição das amostras.



*Figura 23 – Equipamento XPTO<sup>3</sup>: (a) amostra de batata triturada; (b) medição de acrilamida.*

Como já referido anteriormente, as variedades de batata disponíveis durante o ano variam muito com a sua sazonalidade. O equipamento foi atualizado no início do mês de maio e as variedades maioritariamente recebidas na SIA nesse período foram as variedades A, B e C<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Informação não revelada por motivos de confidencialidade.

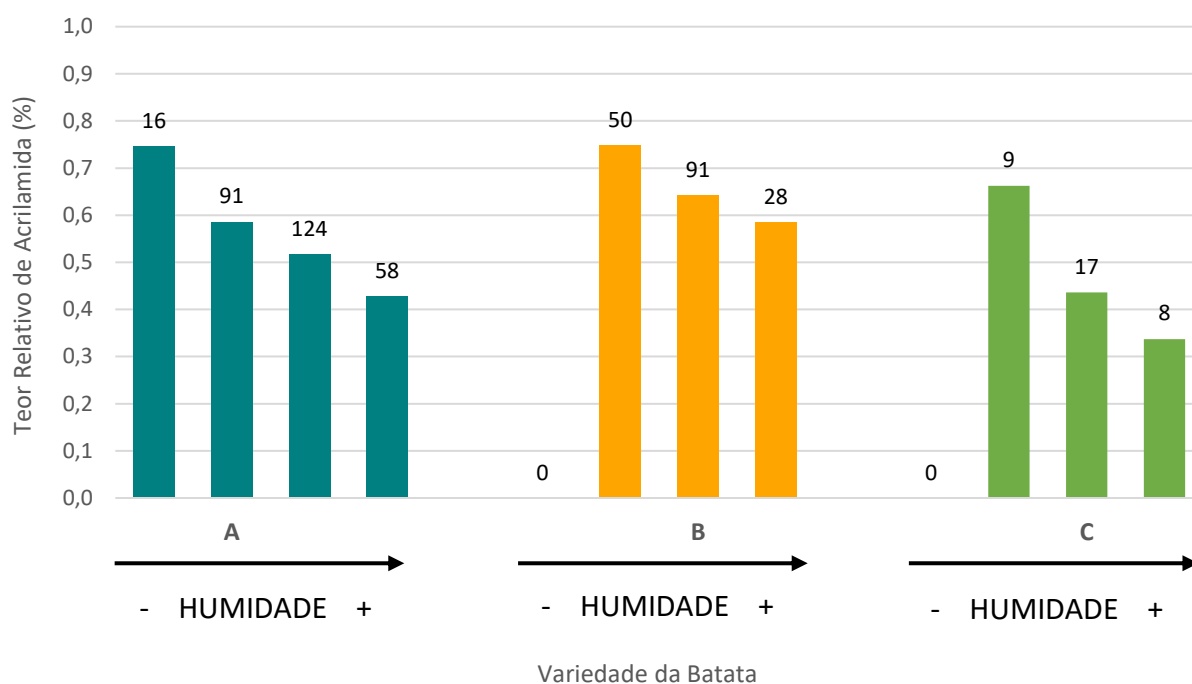


Figura 24 – Resultados do teor relativo de acrilamida nas três variedades de batata estudadas em função da humidade no produto final. O número de amostras analisadas é apresentado no topo de cada coluna.

Na Figura 24 é possível visualizar, nas 3 variedades de batata estudadas, a influência que a humidade exerce no teor de acrilamida final. Para humidades mais baixas o teor de acrilamida é tendencialmente maior, havendo um decréscimo notável quando os valores de humidade são mais elevados. Em 91 amostras estudadas, o teor relativo de acrilamida na variedade A foi de aproximadamente 0,60%, enquanto que para a mesma gama de humidades as variedades B e C apresentaram valores de 0,74% e 0,67%, respetivamente. Desta forma conclui-se que, de entre as 3 variedades, a A mostrou ser a melhor para trabalhar em humidades mais baixas.

Os resultados obtidos vão ao encontro do mencionado pela Food Drink Europe 2013 que defende que a humidade tem uma grande influência nos teores do produto final.

Segundo Muttucumaru et al. (2017) a variedade A também se mostrou uma das melhores variedades mesmo após períodos curtos de armazenamento, no entanto os níveis de precursores presentes tendem a aumentar em períodos de armazenagem longos.

Durante os meses de julho e agosto as variedades predominantes foram a D e a E<sup>4</sup>.

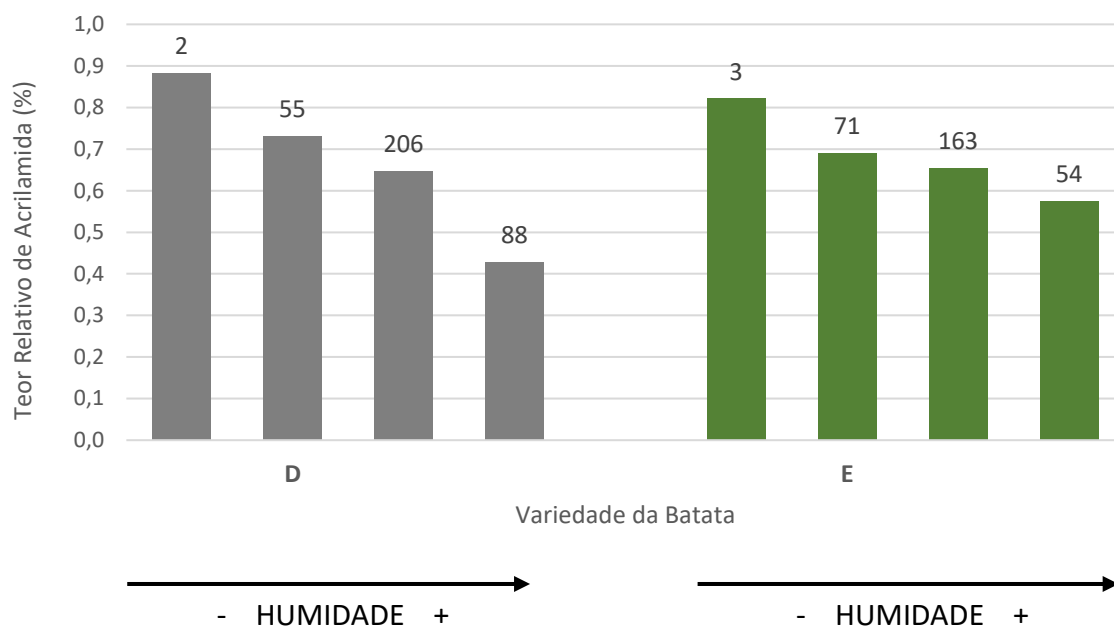


Figura 25 – Resultados do teor relativo de acrilamida nas variedades D e E em função da humidade no produto final. O número de amostras analisadas é apresentado no topo de cada coluna.

Analisando a Figura 25, e tal como aconteceu com as variedades anteriormente referidas, também é perceptível a influência da humidade no produto final. Quanto maior a humidade menor o valor de acrilamida obtido, sendo necessário trabalhar nestas variedades com gamas de humidade mais elevadas. Para as duas primeiras gamas de humidade a variedade D apresentou teores relativos de acrilamida de aproximadamente 0,9 e 0,7%, mostrando-se desta forma a pior variedade para humidades baixas quando comparada com a variedade E que apresentou teores de aproximadamente 0,80 e 0,69% para a mesma gama de humidades. No entanto, para humidades superiores a variedade D mostrou ser a mais adequada, apresentando um teor relativo de acrilamida de 0,4% em oposição à variedade E que obteve um teor relativo de sensivelmente 0,6%.

As grandes desvantagens de trabalhar com humidades altas passam pelos efeitos negativos causados no produto final. O tempo de vida útil, a crocância e a segurança alimentar do produto são os que geram mais preocupação. Uma elevada atividade de água num determinado produto aumenta a sua suscetibilidade a nível microbiológico que, conseqüentemente, afeta a qualidade do produto e o seu tempo de prateleira.

Durante os últimos anos têm sido desenvolvidos vários métodos para a determinação de acrilamida em diferentes matrizes alimentares. Os que demonstram ser mais eficientes utilizam métodos baseados em técnicas cromatográficas como GC-MS e LC-MS/MS, como são exemplo o método da *Food Standards Agency* (FSA) e a *Food and Drug Administration* (FDA) (Soares 2006).

Uma vez que o método utilizado na SIA ainda está em fase de calibração e ajustes constantes, foram enviadas várias bolsas para laboratório externo que utilizam técnicas cromatográficas acreditadas para a medição de acrilamida. Desta forma foi também possível um acompanhamento das diferenças obtidas pelos diferentes métodos.

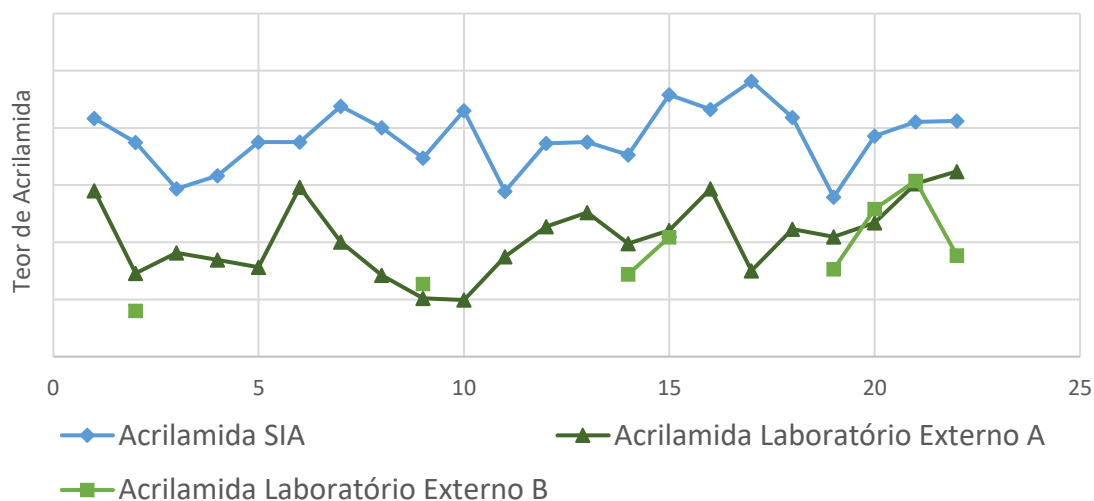


Figura 26 – Resultados do teor de acrilamida em dois laboratórios externos e no equipamento XPTO.

No global, analisando a Figura 26, em todas as amostras analisadas os valores medidos pelo equipamento XPTO mostraram ser visivelmente superiores aos resultados obtidos por ambos os laboratórios externos.

Os resultados obtidos evidenciam que o equipamento de que a SIA dispõe necessita de um reajustamento de forma a tornar as medições o mais próximas possíveis dos valores reais de acrilamida.



## 6.6 Estratégias de mitigação

Definir métodos de mitigação de acrilamida é um processo de bastante complexidade, uma vez que existem vários parâmetros que precisam de ser monitorizados e que têm grande influência na concentração final desta substância. A maioria dos métodos incluem mudanças nas condições de processamento e/ou mudanças nas receitas/formulações do próprio alimento.

- **Matéria prima**

Uma das primeiras medidas a ser implementada pelas indústrias passa pela escolha de matéria prima que demonstre ter uma menor quantidade de potenciais precursores de acrilamida. No caso das batatas fritas, existem estudos que demonstram que as concentrações de açúcares presentes nas batatas cruas têm uma correlação positiva e proporcional à concentração de acrilamida presente no produto final. Assim, a triagem de variedades e lotes de batata à chegada têm um papel importante quando o objetivo é reduzir a formação de acrilamida. No entanto segundo Rommens et al. (2006) existem outras medidas que podem também ser implementadas:

- Estudos mais recentes concluíram que os fertilizantes de nitrogénio parecem influenciar a concentração destes açúcares, isto é, uma diminuição da fertilização faz aumentar a concentração de açúcares em 60-100%;

- Realizar a colheita das batatas na altura adequada uma vez que batatas imaturas contêm níveis mais altos de açúcares redutores;

- Controlo da temperatura durante o transporte e armazenamento. O armazenamento pode aumentar os níveis de açúcares redutores presentes nas batatas, particularmente a temperaturas baixas. Por exemplo, uma temperatura superior a 6°C é considerada adequada para armazenamentos longos.

- Uso de aditivos

O controlo do pH tem sido cada vez mais um parâmetro a ser estudado para a redução de níveis de acrilamida. A adição de ácido cítrico ou ascórbico reduz com sucesso os aminoácidos presentes e é, atualmente, utilizado industrialmente em alguns produtos que têm como base a batata. No entanto, a adição de ácidos a alguns produtos origina sabores desagradáveis fortes. Regra geral, uma redução do pH reduz também a formação de acrilamida (Xu et al. 2016).

A adição de glicina antes do processamento térmico tem-se mostrado também um bom redutor de níveis de acrilamida no produto final. Este aminoácido presente, por exemplo, no corpo humano, quando adicionado compete com a asparagina presente no produto reduzindo significativamente a acrilamida formada. Contudo, este método mostrou ter efeitos negativos nas propriedades sensoriais dos produtos testados originando cheiros desagradáveis (Xu et al. 2016).

- Reações enzimáticas

A utilização de microrganismos na indústria alimentar tem sido ao longo das últimas décadas um método muito apreciado pelas grandes indústrias devido às suas inúmeras vantagens.

Existem microrganismos específicos capazes de consumir a asparagina antes do processamento do alimento. Porém, tal como todos os processos de fermentação, existem etapas que necessitam de ser severamente controladas e estabilizadas. A temperatura e o pH são dos parâmetros mais importantes nos processos fermentativos e têm de ser bastante controlados para maximizar a atividade do microrganismo. Porém, o sabor do produto final pode também ser afetado pelo processo de fermentação (Xu et al. 2016).

- Asparaginase

A asparaginase (*L-asparagine*) é uma enzima presente em animais, plantas e organismos vivos. Estudos recentes mostraram que a asparaginase é capaz de catalisar a hidrólise da asparagina em ácido aspártico e amônia pela hidrólise do grupo amina.

A asparaginase mostrou ser uma ferramenta eficaz na redução da formação de acrilamida através da conversão da asparagina livre presente em ácido aspártico, um outro aminoácido que não altera as propriedades nutricionais do produto (Pedreschi e Zuñiga 2009).

A asparaginase pode ser obtida de uma variedade de microrganismos e, atualmente, é muito utilizada na indústria farmacêutica. Comercialmente já existem dois produtos disponíveis para a mitigação de acrilamida na indústria alimentar. O primeiro a ser comercializado foi o PreventAse™ em 2007 e só depois o Acrylaway® da Novozymes. Ambos os produtos são produzidos tendo como base a obtenção de asparaginase a partir do fungo *Aspergillus*, sendo consideradas seguras para consumo humano pela JECFA (FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, um comitê internacional administrado em conjunto pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura e a Organização Mundial da Saúde).

Estas enzimas são desativadas durante o processo térmico assegurando dessa forma a sua aplicação segura nos alimentos. Atualmente estes aditivos já são utilizados em vários países incluindo Estados Unidos, Austrália, Nova Zelândia, China, Rússia, México e vários países da União Europeia (Xu et al. 2016).

No natal de 2008, na Alemanha foi comercializado o primeiro produto “acrylamide-free”, umas bolachas tratadas com PreventAse™. No entanto, o preço elevado da asparaginase é visto como um obstáculo ao seu uso em grande escala.

- Ultrassom

Após a descoberta deste composto e dos seus riscos na saúde humana, foram várias as pesquisas tecnológicas que começaram a surgir para evitar a sua formação. Tecnologias que tinham como base a transferência de massa nas batatas antes do

processo de fritura começaram a ser vistas como uma vitória no que toca à diminuição da formação de acrilamida. A utilização de um ultrassom é uma dessas tecnologias. Maior parte dos mecanismos associados à aplicação de extração sólido-líquido de alta potência é atribuído ao fenómeno de cavitação. Este fenómeno aumenta a transferência de massa através da formação de poros na camada/revestimento celular e correntes intensas no meio líquido, favorecendo a difusão de componentes (Antunes-Rohling et al. 2018).

- Branqueamento

O processo de branqueamento tem diversas funções sendo uma das mais conhecidas a interrupção da atividade enzimática nos vegetais e frutas antes do seu processamento. Durante o branqueamento as batatas são imersas em água a uma temperatura superior ou igual a 50°C, e a diminuição de açúcares redutores e asparagina é notável. Quanto mais tempo a batata estiver no processo de branqueamento, menor a formação de acrilamida após a fritura. Uma das desvantagens da aplicação deste processo assenta na crocância obtida no produto final, que é significativamente reduzida.

- Fritadeira a vácuo

Uma das tecnologias alternativas estudadas para reduzir os níveis de acrilamida em alimentos foi a fritadeira a vácuo. Os responsáveis por esta descoberta mostraram que este processo reduz a formação de acrilamida em batatas fritas em cerca de 94% quando comparado com o processo de fritura normal. Com este método a água presente nas batatas consegue evaporar a temperaturas mais baixas que 100°C. A diminuição da pressão leva à diminuição dos pontos de ebulição do óleo e da água presente nos alimentos. Este método permite também reduzir significativamente a gordura do produto final. O maior problema é de facto a sua difícil e dispendiosa aplicabilidade na indústria alimentar.

- Pulsos elétricos (PEF)

A empresa Heat and Control, em parceria com a empresa ScandiNova desenvolveram uma metodologia que reduz em 50% o teor de acrilamida. O equipamento, conhecido como E-FLO <sup>™</sup> pode ser facilmente introduzido na linha de fritadeira e necessita de pouca voltagem e manutenção.

Este método é conhecido também como eletroporação. É uma técnica de biologia molecular na qual um campo elétrico é aplicado às células de forma a aumentar a sua permeabilidade das suas membranas através de furos microscópicos. No caso das batatas este processo permite a libertação de açúcares e aminoácidos antes da fritura, reduzindo assim a quantidade de precursores de acrilamida (Genovese et al. 2019).

## 7 Conclusões e trabalho futuro

A acrilamida é uma substância com diversas aplicações, que está classificada como sendo um provável agente carcinogénico para o ser humano. A deteção, em 2002, de quantidades apreciáveis da substância em alimentos de grande consumo, constituiu mais um episódio da saga de problemas de insegurança alimentar, na qual os últimos anos têm sido pródigos. Desde então, muitos têm sido os esforços da comunidade científica no sentido de compreender o problema e minorar as suas consequências.

A evidência de que o teor de humidade no produto final é um parâmetro que afeta a formação de acrilamida já é cientificamente reconhecido. Desta forma é importante a existência de um método que permita o acompanhamento da humidade ao longo do processo.

Este trabalho teve como principal objetivo a calibração de um equipamento que mede em tempo real o valor de humidade do produto em linha. Grande parte dos processos fabricados na SIA foram calibrados com sucesso, reduzindo significativamente as diferenças de humidade lidas pelo sensor do MCT dos resultados obtidos em laboratório. Os únicos processos não calibrados foram a Palha Finíssima, Palha larga e Gourmet KS na linha F1000\_2 e o processo Ancienne na linha H&C. Nos processos referidos, dada a sua escassa e curta produção, não foi possível a aquisição de dados suficientes para uma calibração eficiente e, por esse motivo, é necessário o seu acompanhamento em produções futuras de forma a adquirir o maior número de amostras.

No estudo das variedades de batatas que são mais propícias à formação de acrilamida e, tendo em consideração que o método utilizado pela SIA ainda está em processo de ajustes e calibrações, foi possível traçar perfis de variedades que de facto são tendencialmente menos adequadas para a produção de batatas fritas. Este tema é ainda muito sensível e é necessário continuar um longo e rigoroso estudo para se conseguir uma maior fiabilidade nos resultados por parte do equipamento XPTO. Em grande parte dos métodos apresentados na literatura, os métodos mais eficientes para a determinação e quantificação de acrilamida em alimentos passam por técnicas de cromatografia, que para além de serem equipamentos extremamente dispendiosos, são

também morosos e bastante complexos. O método utilizado neste trabalho, quando comparado com outros métodos, demonstrou ser um método rápido e simples de implementar e aplicar nas análises de rotina.

## 8 Bibliografia

- Anón. 2016. «Produção e Comercialização de Batata em Portugal | MarketingAgricola.pt». Obtido 26 de Janeiro de 2019 (<http://marketingagricola.pt/producao-e-comercializacao-de-batata/>).
- Antunes-Rohling, A., S. Ciudad-Hidalgo, J. Mir-Bel, J. Raso, G. Cebrián, e I. Álvarez. 2018. «Ultrasound as a pretreatment to reduce acrylamide formation in fried potatoes». *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 49:158–69.
- Bergmark, Emma. 1997. «Hemoglobin adducts of acrylamide and acrylonitrile in laboratory workers, smokers and nonsmokers». *Chemical Research in Toxicology* 10(1):78–84.
- Blank, Imre. 2005. «Current status of acrylamide research in food: Measurement, safety assessment, and formation». *Annals of the New York Academy of Sciences* 1043(1):30–40.
- Bonierbale, Merideth, Gabriela Burgos Zapata, Thomas zum Felde, e Paola Sosa. 2010. «Composition nutritionnelle des pommes de terre». *Cahiers de Nutrition et de Diététique* 45(6):S28–36.
- Boon, Polly E., Anika De Mul, Hilko Van Der Voet, Gerda Van Donkersgoed, Marie Brette, e Jacob D. Van Klaveren. 2005. «Calculations of dietary exposure to acrylamide». *Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 580(1–2):143–55.
- Caius M. Rommens, \*, Jingsong Ye, and Craig Richael, e Kathy Swords. 2006. «Improving Potato Storage and Processing Characteristics through All-Native DNA Transformation».
- Europeias, Comunidades. 2017. *REGULAMENTO (UE) 2017/2158 DA COMISSÃO de 20 de novembro de 2017 que estabelece medidas de mitigação e níveis de referência para a redução da presença de acrilamida em géneros alimentícios*. Vol. 2017.
- FDA. 2016. *Contains Nonbinding Recommendations Guidance for Industry Acrylamide in Foods*.
- Food Drink Europe. 2013. *Acrylamide Toolbox 2013*.
- Friedman, Mendel. 2003. «Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review». *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(16):4504–26.
- Genovese, Jessica, Silvia Tappi, Wei Luo, Urszula Tylewicz, Silvia Marzocchi, Sara Marziali, Santina Romani, Luigi Ragni, e Pietro Rocculi. 2019. «Important factors to consider for acrylamide mitigation in potato crisps using pulsed electric fields». *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 55:18–26.



- Gökmen, Vural, Özge Çetinkaya Açar, Hamit Köksel, e Jale Acar. 2007. «Effects of dough formula and baking conditions on acrylamide and hydroxymethylfurfural formation in cookies». *Food Chemistry* 104(3):1136–42.
- IPC (International Potato Center). 2019. «Potato Processing and Uses - International Potato Center». *Ipc*. Obtido 16 de Julho de 2019 (<https://cipotato.org/crops/potato/potato-processing-uses/>).
- Leitão, Tiago Miguel Dinis. 2012. «Aplicações da espectroscopia de infravermelho próximo em Ciências Farmacêuticas». *Universidade Fernando Pessoa*.
- Mann, Charles C. 2011. «How the Potato Changed the World | History | Smithsonian». *Smithsonian Magazine*.
- Marisa, Lília e Dias Bastos. 2012. *Instituto Politécnico de Viseu Escola Superior de Saúde de Viseu*. Vol. 2.
- Muttucumaru, Nira, Stephen J. Powers, J. Stephen Elmore, Andrew Dodson, Adrian Briddon, Donald S. Mottram, e Nigel G. Halford. 2017. «Acrylamide-forming potential of potatoes grown at different locations, and the ratio of free asparagine to reducing sugars at which free asparagine becomes a limiting factor for acrylamide formation». *Food Chemistry* 220:76–86.
- Napolitano, Aurora, Francisco Morales, Raffaele Sacchi, e Vincenzo Fogliano. 2008. «Relationship between virgin olive oil phenolic compounds and acrylamide formation in fried crisps». *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56(6):2034–40.
- Parker, Jane K., Dimitrios P. Balagiannis, Jeremy Higley, Gordon Smith, Bronislaw L. Wedzicha, e Donald S. Mottram. 2012. «Kinetic model for the formation of acrylamide during the finish-frying of commercial French fries». *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60(36):9321–31.
- Pedreschi, Franco e Rommy N. Zuñiga. 2009. *Acrylamide and Oil Reduction in Fried Potatoes : A Review*.
- Pedro Fischer de Almeida Serôdio, António. 2015. *Universidade de Aveiro 2015 Departamento de Química*.
- Portugal. INE. 2018. «Portal do InE». *Índice*. Obtido 25 de Outubro de 2019 ([https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_indicadores&userLoadSave=Load&userTableOrder=180&tipoSelecao=1&contexto=pq&selTab=tab1&submitLoad=true](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&userLoadSave=Load&userTableOrder=180&tipoSelecao=1&contexto=pq&selTab=tab1&submitLoad=true)).
- Reich, Gabriele. 2005. «Near-infrared spectroscopy and imaging: Basic principles and pharmaceutical applications». *Advanced Drug Delivery Reviews* 57(8):1109–43.
- Reynolds, T. 2002. «Acrylamide and Cancer: Tunnel Leak in Sweden Prompted Studies». *CancerSpectrum Knowledge Environment* 94(12):876–78.

- Rydberg, Per, Sune Eriksson, Eden Tareke, Patrik Karlsson, Lar Ehrenberg, e Margareta Törnqvist. 2005. «Factors that influence the acrylamide content of heated foods». *Advances in Experimental Medicine and Biology* 561:317–28.
- Soares, Cristina Maria Dias. 2006. «Determinação dos teores de acrilamida em alimentos». [http://catalogo.up.pt/F?func=find-b&local\\_base=UPB01&find\\_code=SYS&request=000108342](http://catalogo.up.pt/F?func=find-b&local_base=UPB01&find_code=SYS&request=000108342).
- Xu, Fei, Maria-Jose Oruna-Concha, e J. Stephen Elmore. 2016. «The use of asparaginase to reduce acrylamide levels in cooked food». *Food Chemistry* 210:163–71.



## II. Calibrações na Linha F1000\_1

### Processo Lisa – Humidade

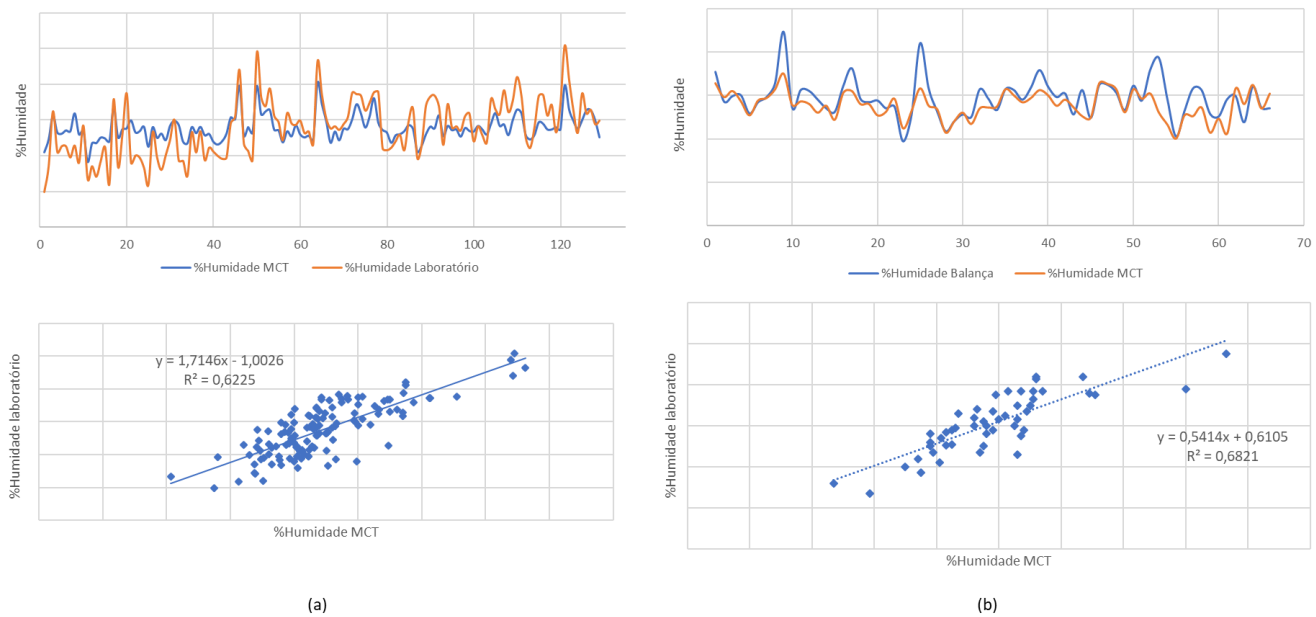


Figura 27 - Resultados obtidos: (a) antes da calibração (b) após calibração.

### Processo Lisa – Gordura

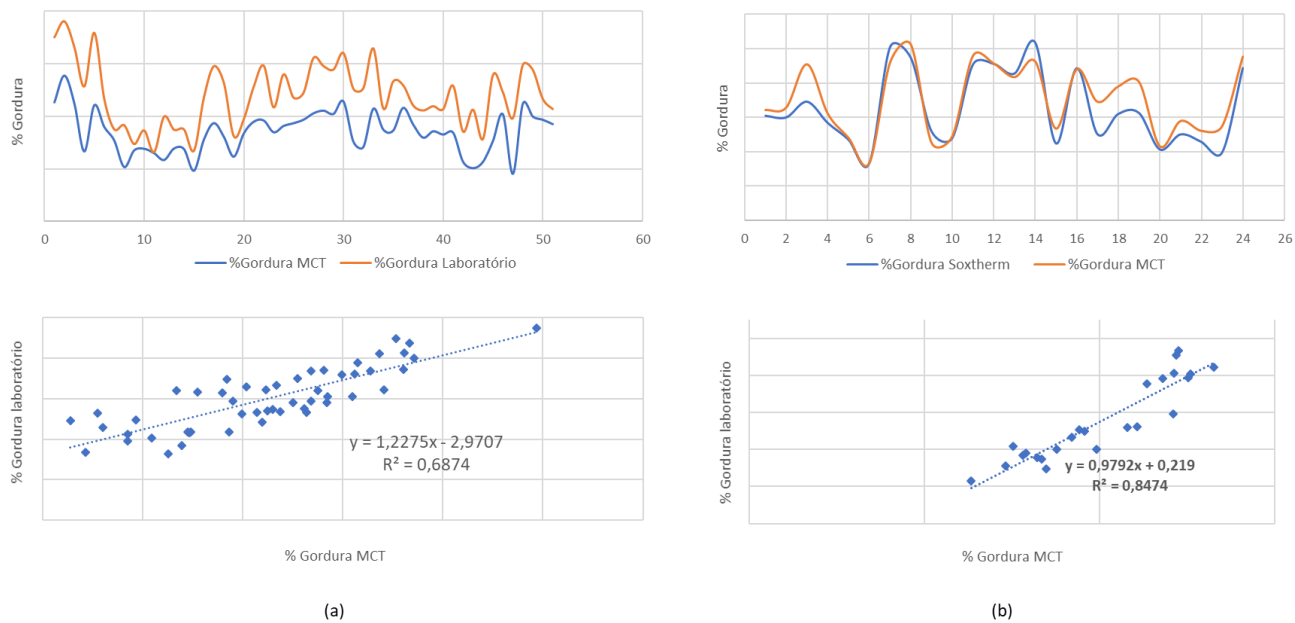
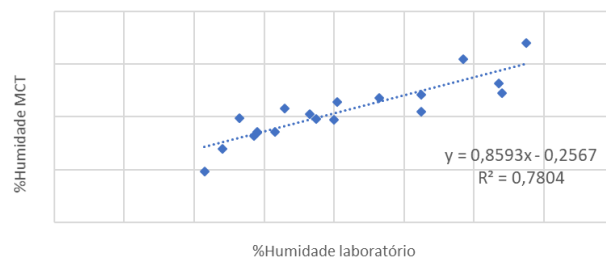
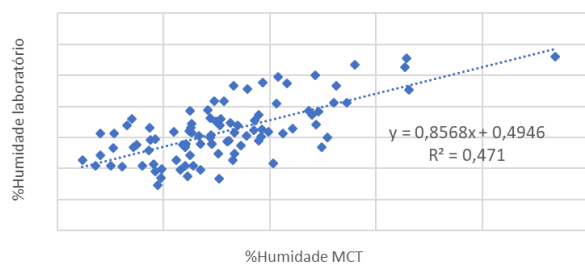
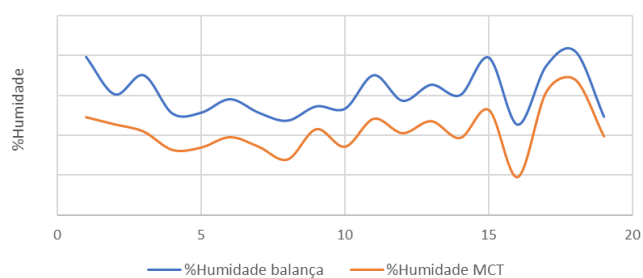
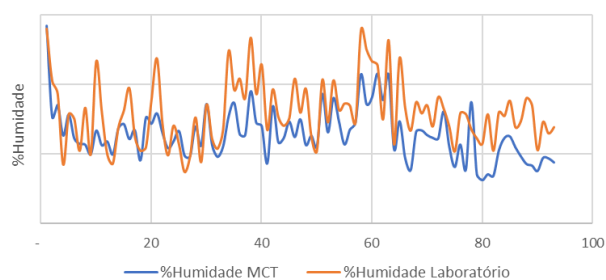


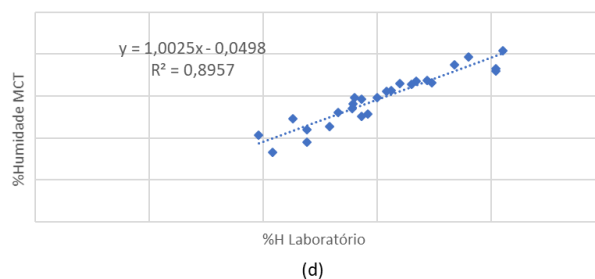
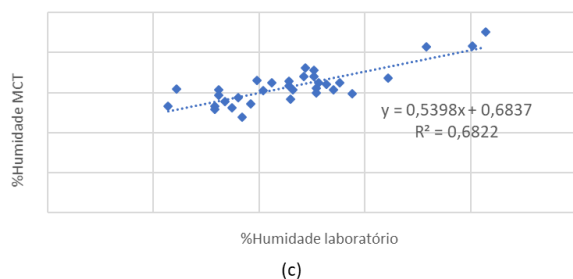
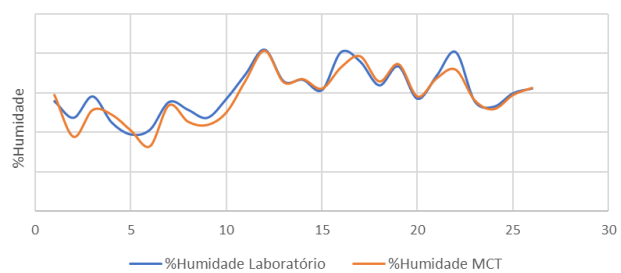
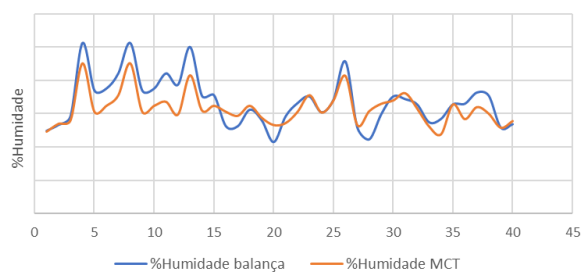
Figura 28- Resultados obtidos: (a) antes da calibração (b) após calibração.

## Processo Ondulada – Humidade



(a)

(b)

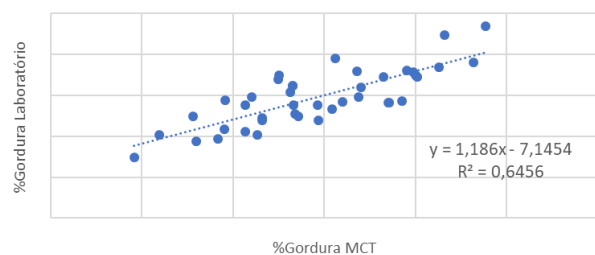
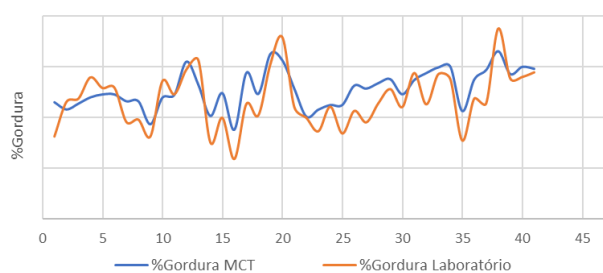


(c)

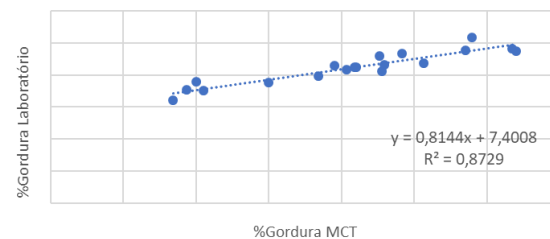
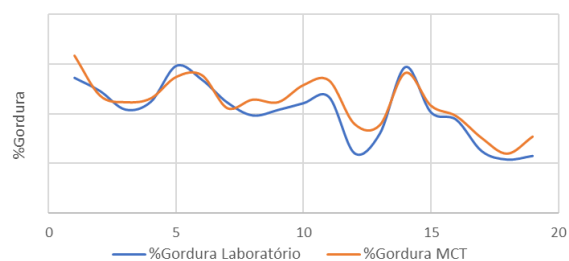
(d)

Figura 29- Resultados obtidos: (a) antes da calibração (b) primeira calibração (c) segunda calibração (d) terceira calibração.

### Processo Ondulada – Gordura



(a)

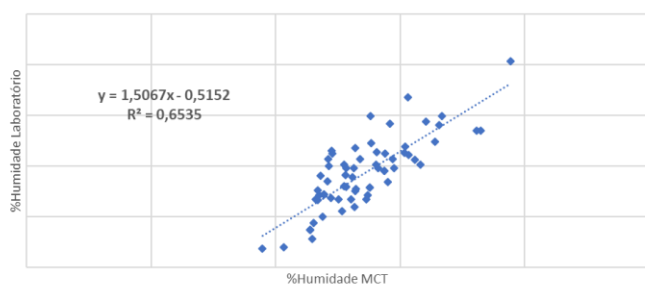
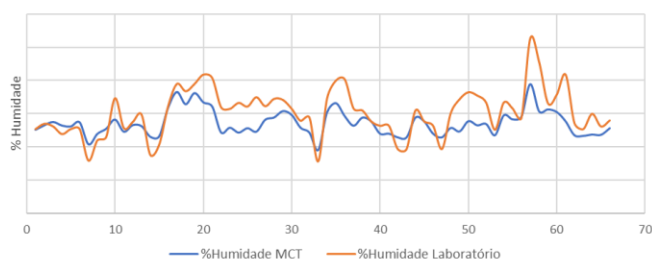


(b)

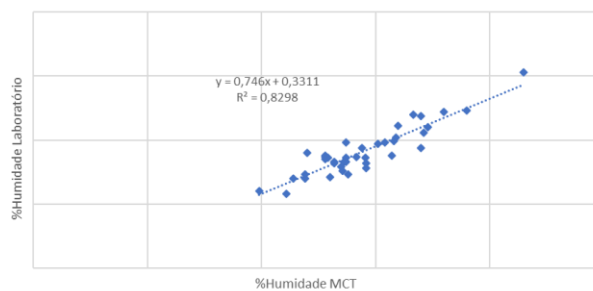
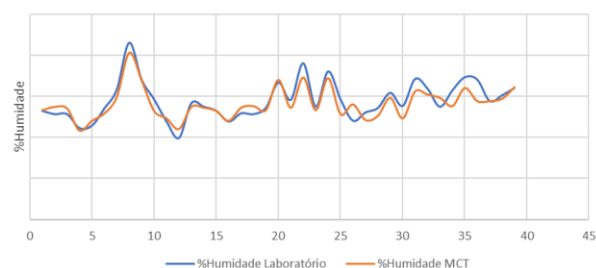
Figura 30 - Resultados obtidos: (a) antes da calibração (b) após calibração.

### III. Calibrações na Linha F1000\_2

#### Processo Lisa – Humidade



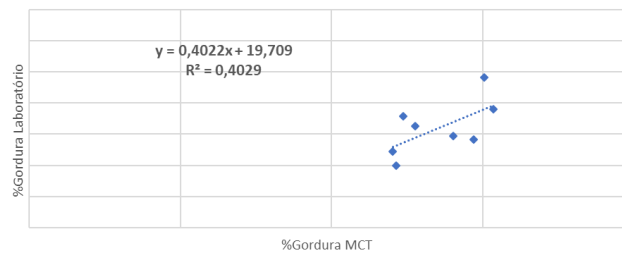
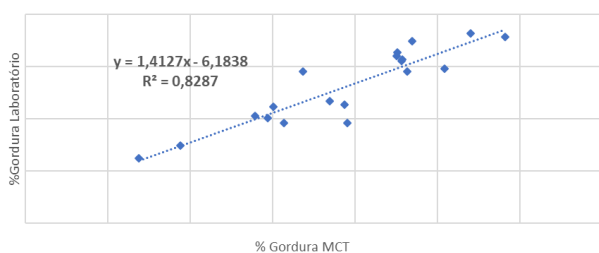
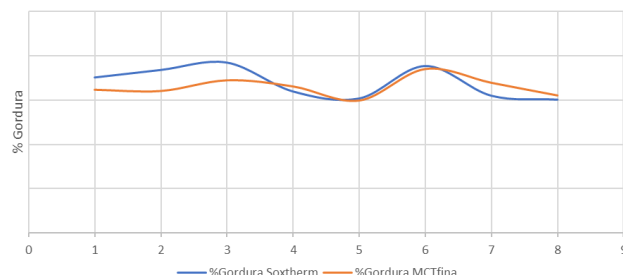
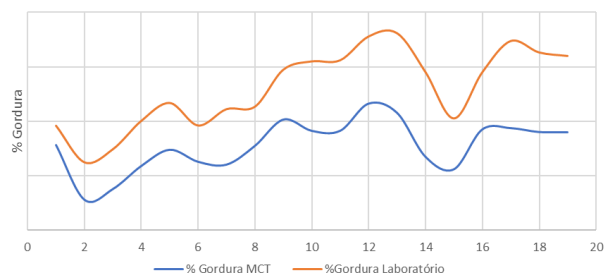
(a)



(b)

Figura 31 - Resultados obtidos: (a) antes da calibração (b) após calibração.

## Processo Lisa – Gordura

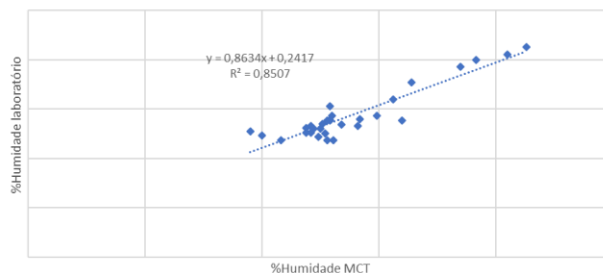
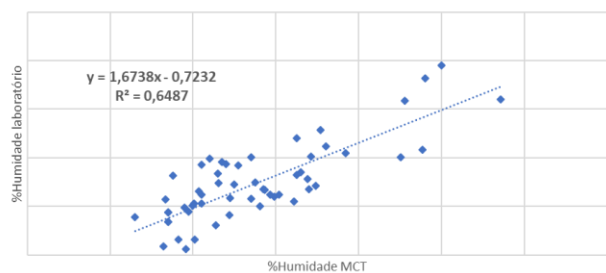
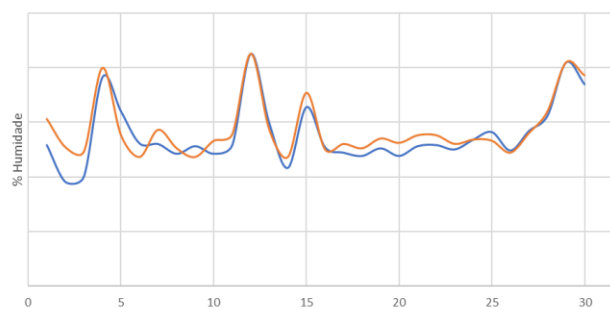
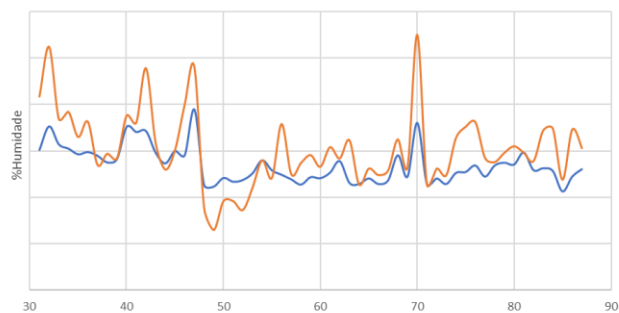


(a)

(b)

Figura 32 - Resultados obtidos: (a) antes da calibração (b) após calibração.

## Processo Artesanal – Humidade

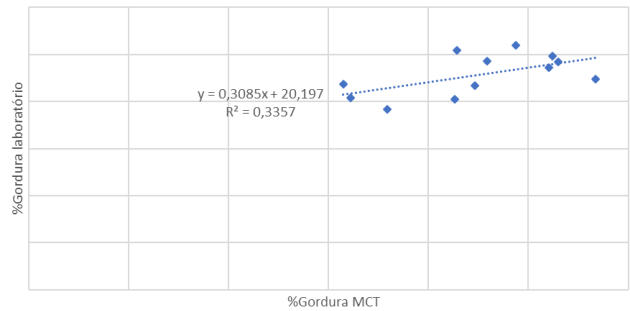
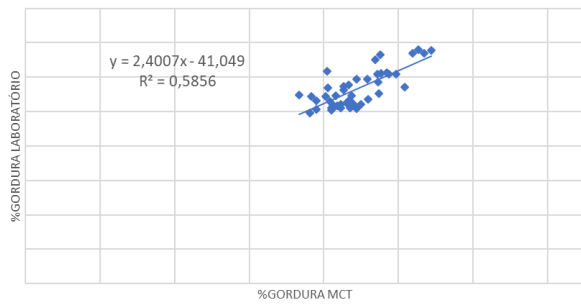
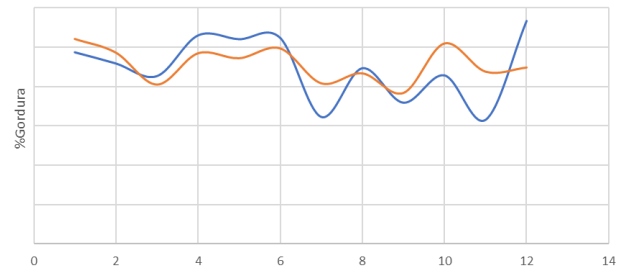
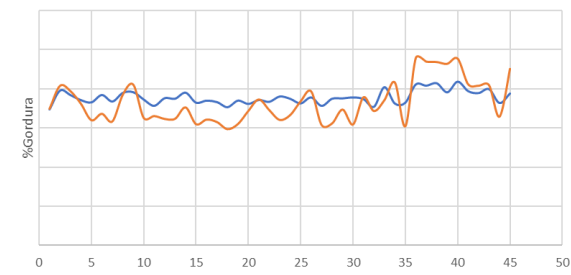


(a)

(b)

Figura 33 - Resultados obtidos: (a) antes da calibração (b) após calibração.

## Processo Artesanal – Gordura



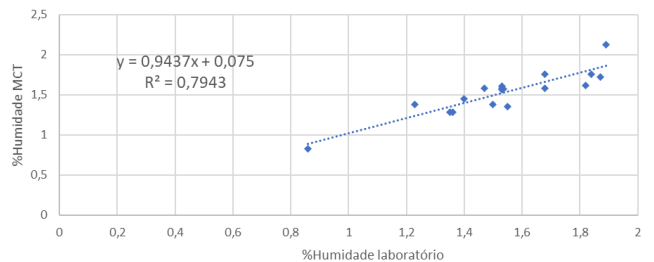
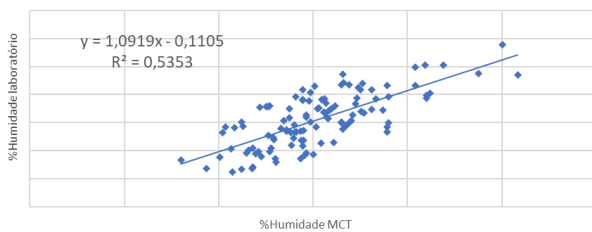
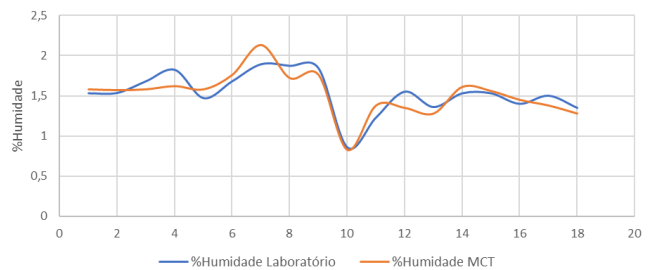
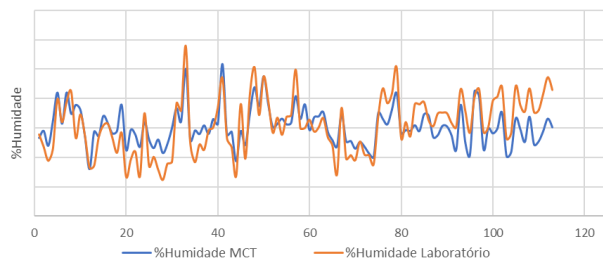
(a)

(b)

Figura 34 - Resultados obtidos: (a) antes da calibração (b) após calibração.

## IV. Calibrações Linha H&C

### Processo Light – Humidade



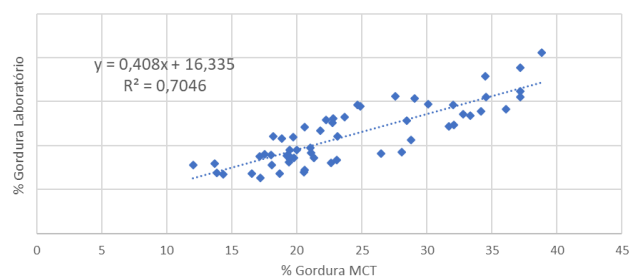
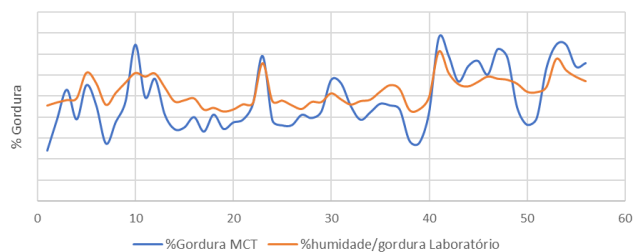
(a)

(b)

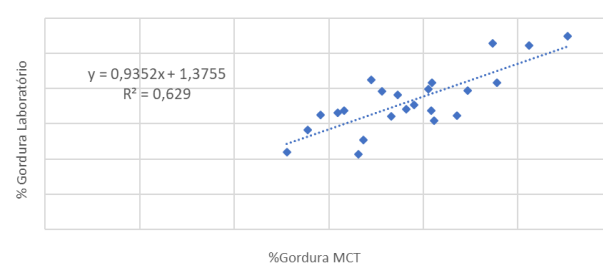
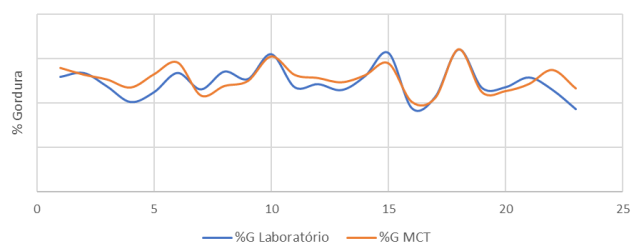
Figura 35 - Resultados obtidos: (a) antes da calibração (b) após calibração



## Processo Light – Gordura



(a)



(b)

Figura 36 - Resultados obtidos: (a) antes da calibração (b) após calibração.

V. Ficheiro de apoio – Estudo Acrilamida

	Date	Time	Fryer Line	Spectralys Code	Lot	Variety	Dry Matter	Sugars (internal)	Process	Fat	Outlet Temperature (°C)	Moisture	Soxtherm Fat	Acrylamide ppb (SIA)	Acrylamide ppb (SG)	Acrylamide - Extern Lab France CSIC	Acrylamide - Extern Lab Portugal (Eurofins) (µg/Kg)	Color	Potato Thickness (mm)	Shelf Life	Total Sugars	Asparagine (g/100g)
JUNE																						
JULY																						
AUGUST																						